

**Universidade Federal do Piauí**

**Herança da pena frisada e descritores da sua mutação em galinhas**

**Maurício Sérgio Ferreira Soares da Silva Júnior**

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal do Piauí como  
parte das exigências do Programa de  
Pós-graduação em Genética e  
Melhoramento, área de concentração  
em Genética e Melhoramento para  
obtenção do título de “Mestre”.

**Teresina**

**2021**

**Maurício Sérgio Ferreira Soares da Silva Júnior**  
**Graduado em Ciências Biológicas**

## **Herança da pena frisada e descritores da sua mutação em galinhas**

**Orientador: Dr. Fábio Barros Britto**

**Dissertação apresentada à Universidade Federal do Piauí como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento, área de concentração em Genética e Melhoramento para obtenção do título de “Mestre”.**

**Teresina**

**2021**

FICHA CATALOGRÁFICA  
Universidade Federal do Piauí  
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Agrárias  
Serviço de Processos Técnicos

**S586h** Silva Júnior, Maurício Sérgio Ferreira Soares da  
Herança de pena frisada e descritores da sua mutação em galinhas. / Maurício Sérgio Ferreira Soares da Silva Júnior. -- 2021.  
65 f.: il.

Dissertação ( Mestrado ) – Universidade Federal do Piauí, Centro de Ciência Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, 2021.  
“Orientador: Dr. Fábio Barros Brito”

1. Mutação genética 2. Frizzele 3. Dominância incompleta 4. Adaptação  
I. Brito, Fabrício Barros. I. Título.

**CDD 575.292**

**Herança da pena frisada e descritores da sua mutação em galinhas**

**Maurício Sérgio Ferreira da Silva Júnior**

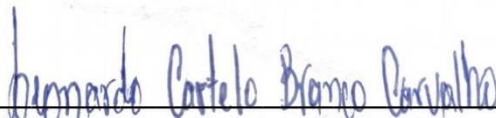
**Licenciado em Ciências Biológicas**

**Aprovado em 07/05/2021**

**Comissão Julgadora:**



**Dr. Marcos Jacob de Oliveira Almeida – Embrapa Meio-Norte**



**Prof. Dr. Leonardo Castelo Branco Carvalho - PPGM/UFPI**



**Dra. Adriana Mello de Araújo - Embrapa Meio-Norte  
Coorientadora**



**Prof. Dr. Fábio Barros Britto - CCN/UFPI  
Orientador**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primariamente a Deus, o Supremo Benfeitor dos céus e da terra, a Cristo Jesus Nosso SENHOR. Agradeço a minha família pela colaboração e apoio durante todo esse tempo, principalmente aos meus pais Alceonira de Sousa Belchior e Mauricio Sérgio Ferreira Soares da Silva, e minha esposa Victória Borges Soares que sempre cuidaram de mim, e me deram forte apoio nessa caminhada árdua da vida.

Agradeço aos orientadores Dr. Fábio Barros Britto e Dra. Adriana Mello de Araújo que tanto me ajudaram no prosseguimento da pesquisa, e no apoio, agradeço também aos professores da pós-graduação em Genética e Melhoramento (PPGM) e meus queridos amigos discentes desse programa, por terem colaborado e sempre trabalhando em prol do desenvolvimento científico.

Agradeço aos colegas colaboradores do projeto; Geice Ribeiro da Silva e Artur Oliveira Rocha, que sempre me ajudaram nas questões estatísticas e matemáticas.

À EMBRAPA Meio-Norte pelo apoio logístico durante as coletas de dados a campo e ao acolhimento científico.

À Universidade Federal do Piauí, pelo desenvolvimento educacional e pelas oportunidades dentro da instituição.

À CAPES pelo financiamento e concessão de bolsa voltada para o desenvolvimento científico e tecnológico.

À toda a minha família e amigos que torceram por mim, e estiveram em orações e súplicas, por pensamentos ou palavras, meus sinceros e auspícios agradecimentos.

Quem não te temeria a ti, ó  
Rei das nações? Pois isto só  
a ti pertence; porquanto  
entre todos os sábios das  
nações, e em todo o seu  
reino, ninguém há  
semelhante a ti.

Jeremias 10:7

## SUMÁRIO

SUMÁRIO.....	7
RESUMO.....	9
ABSTRACT .....	10
LISTA DE ILUSTRAÇÕES .....	11
LISTA DE TABELAS .....	13
1 INTRODUÇÃO GERAL .....	14
RESUMO.....	16
ABSTRACT .....	17
2.1 INTRODUÇÃO .....	18
2.2 METODOLOGIA.....	20
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
Levantamento sistemático de artigos envolvendo a variedade frisada .....	21
Considerações acerca das informações levantadas na busca bibliográfica .....	25
• <i>A seleção de características adaptativas em aves para climas tropicais</i> .....	25
• <i>A variedade frisada (frizzle) em Gallus gallus domesticus</i> .....	26
2.4 CONCLUSÕES .....	27
REFERÊNCIAS.....	28
3 ARTIGO 2: DESCRITORES E HERANÇA DE GALINHAS FRISADAS BRASILEIRAS.....	33
RESUMO.....	33
ABSTRACT .....	34
3.1 INTRODUÇÃO .....	35
3.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	38
3.2.1 Resgate e multiplicação de aves frisadas .....	38
3.2.2 Fenotipagem da plumagem para inferência dos genótipos.....	39

3.2.3 Teste de segregação e herança das aves frisadas.....	40
3.2.4 CARACTERIZAÇÃO FENOTÍPICA PARA DESCRITORES MORFOLÓGICOS .....	42
3.2.4.1 Caracterização fenotípica.....	42
3.2.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS .....	43
3.2.6 CRITÉRIOS ÉTICOS EM EXPERIMENTAÇÃO ANIMAL.....	44
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
3.3.1 Fenotipagem na Plumagem para inferência dos genótipos.....	44
3.3.2 Segregação dos Indivíduos Frisados .....	45
3.3.3 ANÁLISES FENOTÍPICAS .....	47
3.3.3.1 Análises Morfológicas das Variáveis Categóricas .....	47
3.3.3.2 Análises Morfológicas Quantitativas.....	49
3.3.3.3 Análise de Componentes Principais (PCA) .....	53
3.3.3.4 Agrupamento com Distância de Gower .....	54
3.4 CONCLUSÃO.....	56
REFERÊNCIAS.....	58
ANEXO(S) .....	62



## RESUMO

MAURÍCIO SÉRGIO FERREIRA SOARES DA SILVA JUNIOR. **Herança da pena frisada e descritores da sua mutação em galinhas** 2021. Total de páginas: 65. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2021.

A galinha frisada é uma variedade fenotípica com mutação do gene *frizzle*, conhecida também como “arrepia” ou “penas viradas”. A mesma tem se destacado por suas características adaptativas em ambientes tropicais, bem como na seleção de aves com maior potencial produtivo em comparação as galinhas de penas não-frisadas. O gene *frizzle* ainda é pouco estudado sendo necessária uma análise aprofundada para o entendimento dos padrões de segregação do mesmo. O presente estudo apresenta uma análise bibliográfica sistemática da literatura mundial de artigos relativos ao tema, bem como a caracterização genética e fenotípica de galinhas frisadas do Meio-Norte do Brasil. A busca por trabalhos envolvendo a temática foi realizada em quatro bases de dados, com descritores (em português e inglês) referentes a galinha frisadas, aplicando-se o método por triagem dos artigos. Na análise bibliográfica, foram analisados 1885 artigos e encontrados 49 envolvendo a variedade frisada na literatura mundial, sendo EUA e China com maior interesse na pesquisa dessa linhagem. Poucos trabalhos foram encontrados no continente latino-americano, corroborando a necessidade de estudos com essa linhagem. Considerando os dados levantados na revisão sistemática de literatura, há necessidade de maiores estudos com tal variedade, principalmente em nível local, onde poucas referências foram encontradas. Foram também realizadas análises fenotípicas em 21 galinhas, sendo 12 frisadas e 9 não-frisadas. Aplicou-se método de cruzamento para o estudo da herança frisada utilizando-se a curvatura da raque da pena para a inferências dos genótipos. Foram analisados 9 descritores qualitativos e 19 quantitativos para comparação entre galinhas frisadas e de penas não-frisadas. Realizou-se as análises de determinação e homogeneidade de frequências, análise de variância e teste de Scott-Knott. Foram aplicadas análises de agrupamento, pelo método hierárquico UPGMA (*Unweighted Pair Group Method With Arithmetic Mean*) com verificação da correlação cofenética. As frequências qualitativas demonstraram padrões de plumagem, presença de topete e patas plumadas para galinhas frisadas. Nos dados quantitativos, foram destacados os descritores de interesse econômico. No método de agrupamento observou-se a formação de 2 grupos, sendo um com predominância de galinhas frisadas e outro de galinhas não frisadas. O índice da correlação cofenética foi de 82%. Nas galinhas coletadas no Meio-Norte foi evidenciada a presença de interação alélica por dominância incompleta. A caracterização fenotípica qualitativa das galinhas frisadas demonstrou dados que podem ser marcadores características típicas de galinhas frisadas voltadas para conservação do seu material genético e indícios de características asiáticas. As mensurações de interesse produtivo de comprimento da asa e coxa demonstraram-se potenciais para galinhas frisadas. Os dados demonstram a formação de grupos de acordo com os fenótipos estudados, reforçando a contribuição para a distinção das galinhas frisadas e não-frisadas.

**Palavras-chave:** *frizzle*; dominância incompleta; adaptação;

## **ABSTRACT**

The frizzle chicken is a phenotypic variety with a mutation of the frizzle gene, also known as “creepy” or “turned feathers”. It has stood out for its adaptive characteristics in tropical environments, as well as in the selection of birds with greater productive potential in comparison to non-frizzle feather hens. The frizzle gene is still poorly studied and an in-depth analysis is necessary to understand its segregation patterns. The present study presents a systematic bibliographic analysis of the world literature of articles related to the theme, as well as the genetic and phenotypic characterization of frizzle hens from the Mid-North of Brazil. The search for works involving the theme was carried out in four databases, with descriptors (in Portuguese and English) referring to the frizzle chicken, applying the method for screening the articles. In the bibliographic analysis, 1,885 articles were analyzed and 49 were found involving the frizzle variety in the world literature, the USA and China being most interested in researching this strain. Few studies have been found on the Latin American continent, corroborating the need for studies with this lineage. Considering the data collected in the systematic literature review, there is a need for further studies with such variety, mainly at the local level, where few references were found. Phenotypic analyzes were also carried out on 21 hens, 12 of which were frizzle and 9 non-frizzle. A crossover method was applied for the study of the frizzle inheritance using the curvature of the feather racquet to infer the genotypes. Nine qualitative and 19 quantitative descriptors were analyzed for comparison between frizzle and non-frizzle feather hens. Frequency determination and homogeneity analyzes, analysis of variance and Scott-Knott test were performed. Cluster analyzes were applied using the UPGMA (Unweighted Pair Group Method With Arithmetic Mean) hierarchical method with verification of the cofenetic correlation. Qualitative frequencies demonstrated plumage patterns, presence of tuft and feathered feet for frizzle hens. In quantitative data, descriptors of economic interest were highlighted. In the grouping method, the formation of 2 groups was observed, one with a predominance of frizzle hens and the other of non-frizzle hens. The co-phenetic correlation index was 82%. In the hens collected in the Mid-North, the presence of allelic interaction due to incomplete dominance was evidenced. The qualitative phenotypic characterization of frizzle hens showed data that can be typical markers of typical frizzle hens aimed at the conservation of their genetic material and indications of Asian characteristics. Measurements of productive interest in wing and thigh length were shown to be potential for frizzle hens. The data demonstrate the formation of groups according to the studied phenotypes, reinforcing the contribution to the distinction of frizzle and non-frizzle chickens.

**Keywords:** frizzle; incomplete dominance; adaptation;

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### ARTIGO 1 - LEVANTAMENTO DE ESTUDOS GENÉTICOS COM GALINHA (*Gallus gallus domesticus*), DA VARIEDADE FRISADA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

Figura 1 - Banco de dados avaliados, e parâmetros avaliados para seleção de artigos sobre a variedade frisada.....	20
Figura 2 - Quantidade de artigos por ano de publicação.....	22
Figura 3 - Quantidade de artigos por país de origem.....	22
Figura 4 – Artigos selecionados por continente.....	22

### ARTIGO 2 - DESCRITORES E HERANÇA DE GALINHAS FRISADAS BRASILEIRAS

Figura 1 - Variedade de Galinha Frisada .....	34
Figura 2 - Locais de ocorrência das galinhas frisadas (Chapadinha e Queimada Nova) e pontos de coleta de galinhas com penas selvagem (Itapecuru Mirim, Teresina e Paulistana) utilizadas para fins de comparação. ....	37
Figura 3 - Estrutura eixo central de análise da plumagem, comparando penas de galinhas selvagens e frisadas para o gene <i>F</i> baseado e adaptado segundo Chen Siang et al (2012). ....	39
Figura 4 - A: 1º Hipótese do cruzamento de indivíduos heterozigotos para o genótipo Frizzle. B: 2º Hipótese do cruzamento de indivíduos FF/Ff para o genótipo Frizzle..	42
Figura 5 - Análise da plumagem, comparando penas de galinhas não-frisadas (selvagem) e frisadas para o gene <i>F</i> baseado e adaptado segundo Chen Siang et al (2012).....	42
Figura 6 - Comparação das penas pela mudança da curvatura com base no ângulo $\theta(s)$ de acordo com o comprimento das penas frisadas (FF, Ff) e selvagens (ff).....	43
Figura 7 – Foto Galo Frisado (ID: 4853) e Foto Galo Frisado (ID: 050) respectivamente .....	44
Figura 8 - Heredograma dos cruzamentos para obtenção de prole frisada produzido no Progeny Online Pedigree Drawing (POPD). A: Cruzamento 1, com a presença de	

um indivíduo selvagem para o gene frisado. B: Cruzamento 2, com a presença de sucessivos indivíduos frisados. ....51

Figura 9 – A: Gráfico de análise dos componentes principais (PCA) com os descritores de importância econômica em nível de contribuição angular com eixos 1(X) e 2(Y).

C\_Corpo\_: Comprimento do Corpo (cm); D\_Coxa: Diâmetro da Coxa (cm); C\_Coxa\_: Comprimento da Coxa (cm); D\_Sobrecoxa\_: Diâmetro da Sobrecoxa (cm); C\_Sobrecoxa\_: Comprimento da Sobrecoxa (cm); P\_Toracico: Perímetro Torácico (cm); P\_Abdominal: Perímetro Abdominal (cm); Peso (kg).

B - Contribuição das variáveis quantitativas na análise de componentes principais (PCA) para o eixo 1 e 2, principais descritores: P\_Abdominal: Perímetro abdominal (cm); P\_Torácico: Perímetro Torácico (cm)

C\_Corpo\_: Comprimento do Corpo (cm); D\_Coxa: Diâmetro coxa (cm); C\_Coxa\_: Comprimento da Coxa (cm); D\_Sobrecoxa\_: Diâmetro da Sobrecoxa (cm); C\_Sobrecoxa\_: Comprimento da Sobrecoxa (cm); Peso (kg). .....53

Figura 10 - Dendrograma pelo método de agrupamento *Unweighted Pair Group Method With Arithmetic Mean (UPGMA)* utilizando-se da distância de Gower para quatro grupos genéticos de galinhas frisadas e não frisadas .....55

## LISTA DE TABELAS

### ARTIGO 1 - LEVANTAMENTO DE ESTUDOS GENÉTICOS COM GALINHA (*Gallus gallus domesticus*), DA VARIEDADE FRISADA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA.

Tabela 1 - Número de artigos encontrados e selecionados em ordem crescente.....21

Tabela 2 - Artigos destacados conforme o eixo de assunto.....25

### ARTIGO 2 - DESCRITORES E HERANÇA DE GALINHAS FRISADAS BRASILEIRAS

Tabela 1 - Indivíduos mensurados por grupo, identificação, sexo e local de criação.....40

Tabela 2 - Frequências absolutas e relativas das características fenotípicas qualitativas Frisados (FF, Ff) x Não Frisados (ff), e valores de probabilidades associados (*P valor*) aos testes de homogeneidades das frequências.....47

Tabela 3 - Características morfométricas analisadas das 21 aves frisadas e não-frisadas.....49

Tabela 4 - Resultado do teste de significância da variação das características quantitativas nas aves em relação ao fenótipo, sexo e local de coleta.....41

### ARTIGO 2 – ANEXOS

Tabela A1 - Descrição das características fenotípicas qualitativas analisadas nas galinhas frisadas.....62

Tabela A2 - Medidas corporais mensuradas para caracterização das galinhas frisadas.....63

Tabela A3 - Análise de variância (ANOVA) para as características quantitativas obtidas..... 62

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

Galinhas ou galos caipiras (*Gallus gallus domesticus*) fazem parte da ordem Galliforme, família Phasianidae. Essa ordem pode ser encontrada em todo o mundo com cerca de 70 gêneros e mais de 250 espécies. Considerando apenas a espécie doméstica predominante, há um efetivo de cerca de 24 bilhões de cabeças (CAMPBELL, 2011, FAO 2020). A grande variedade de raças é fundamental para sua adaptação cosmopolita, com distribuição geográfica altamente diversa, e que incluem habitats como florestas primárias, desertos, matagais, montanhas e prados alpinos (JOHNSGARD, 1983; STILES E SKUTCH, 1989 JOHNSGARD 1999; JONES et al., 1995; MADGE E MCGOWAN, 2002; DE NOVAES VIANNA, 2020).

São animais de grande importância mundial por serem fonte de carne e ovos na alimentação humana, sendo consideradas como principal fonte de proteína do mundo e, conseqüentemente, atuam como importante fonte de renda para pequenos e médios produtores (LEDUR et al., 2007; TAKAHASHI et L., 2006). Os sistemas de criação diversificados também são importantes para estimular a escolha dos criadores por esta variedade. Os animais podem ser criados soltos, em ambiente aberto, em sistema de produção extensiva, que exige baixos custos, além do fato de seus produtos serem considerados ecologicamente corretos para o consumidor (ROCHA et al., 2020).

Assim, torna-se um desafio aumentar a produção e adaptação dessa espécie para abastecer a demanda de alimento, principalmente ao se considerar o crescimento populacional, o aquecimento global e os problemas socioeconômicos (FAO, 2020).

É certo que um dos principais fatores na criação das galinhas caipiras é a interação “genótipo × ambiente”, grande parte por estarem mais expostas em seu sistema de criação as variações climáticas de seu entorno. A temperatura média é uma das variáveis ambientais que mais influenciam o genótipo e sua expressão. Essas temperaturas, quando elevadas, aumentam os níveis de cortisol e por consequência podem gerar estresse no animal (YUNIS e CAHANES, 1999; MAHROUS et al., 2003; CHEN et al., 2009).

Por habitarem diversos ambientes, as galinhas caipiras desenvolveram adaptações morfofisiológicas diversas, dentre elas destaca-se as galinhas de penas

frisadas, também conhecidas como “arrepiaadas” ou “penas viradas”. Suas penas apresentam curvaturas diferenciadas que ajudam no resfriamento corporal, gerando vantagens biológicas nessa variedade. Dessa forma, a análise desta característica adaptativa pode melhorar o desempenho desses animais e consequentemente melhorar a produção avícola (GALAL e FATHI, 2001; NWACHUKWU *et al.*, 2006a; MAHROUS *et al.*, 2003; 2008). Essa característica pode ser determinada por uma deleção de 84 pb em uma região do gene *KRT75*, posicionada na junção do éxon 5 e íntron 5 (chrE22C19W28\_E50C23: 658, 389-658, 472, número de acesso do GenBank: JQ013796). Este gene é conhecido por codificar a proteína alfa II-queratina IIB do tipo II que é responsável pela morfofisiologia da pena (MADERSON, 2009; ALIBARDI, 2013; NG *et al.*, 2012).

Considerando que pouco se conhece a respeito dessa variedade, com pouca informação zootécnica disponível em território brasileiro, fazem-se necessárias pesquisas que difundam mais informações genéticas e fenotípicas dessa exótica característica.

Neste sentido, objetivou-se com esta pesquisa realizar uma revisão sistemática da literatura sobre aspectos genéticos e morfofisiológicos da variedade frisada de galinhas caipiras, a caracterização genética e fenotípica do padrão *frizzle*, visando a conservação, manejo e uso sustentável da espécie em climas tropicais.

## **2 ARTIGO 1: LEVANTAMENTO DE ESTUDOS GENÉTICOS COM GALINHA (*Gallus gallus domesticus*), DA VARIEDADE FRISADA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA**

### **RESUMO**

A galinha tem papel fundamental na economia mundial e é classificada como principal fonte de proteína no mundo. Atualmente são necessárias estratégias para aprimorar a produção avícola e atender a demanda mundial. O melhoramento através de seleção de características vantajosas, como o gene *frizzle*, geram maior potencial produtivo e adaptativo. Nesse sentido o presente estudo visa uma revisão sistemática de referências sobre a variedade frisada de galinhas em quatro bases de dados: *Google Acadêmico*, *Periódicos CAPES*, *PubMed* e *SciELO*. O método utilizado foi a pesquisa sistemática com base em critérios de exclusão em triagem, utilizando os descritores “Galinhas” (*Chicken*), “Frisadas” (*Frizzle*) e “Penas Viradas” dos anos de 1994 a 2020, e selecionando artigos em 3 etapas de triagem para apurar aqueles relacionados a característica frisada da pena (morfosiologia, mutação e adaptação). Foram encontrados 1.885 artigos, sendo selecionados 49 na triagem final. O período com maior publicação foi o ano de 2014. O país com maior número de publicações foi a China, sendo destacada a baixa taxa de trabalhos no continente latino americano, principalmente no Brasil um dos maiores produtores de frangos, e com um baixo índice de artigos sobre esse espécime. Na produção científica por continente, a Ásia e África tiveram destaque na quantidade de artigos publicados sendo. Também é destacado o levantamento de informações da variedade frisada que possuem origem ainda desconhecida, bem como seu desempenho produtivo superior à de galinhas não-frisadas. A mutação responsável pelo fenótipo pode estar ocorrendo no gene *KRT75*, fruto de uma deleção de 84 pb. No entanto, não se conhece o verdadeiro fator genético determinante do fenótipo de penas frisadas nas galinhas brasileiras. Os dados levantados também demonstram o interesse das principais potências econômicas como a China e países da Ásia, onde provavelmente surgiu essa mutação *frizzle*, sua importância para pesquisa e potencial produtivo para pequenos criadores.

**Palavras-chave:** pena frisada; arrepiada; adaptação.



## **SURVEY OF GENETIC STUDIES WITH CHICKEN (*Gallus gallus domesticus*), OF THE FRIZZLE VARIETY: A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW**

### **ABSTRACT**

Chicken plays a fundamental role in the world economy and is classified as the main source of protein in the world. Currently, strategies are needed to improve poultry production and meet world demand. Improvement through the selection of advantageous characteristics, such as the frizzle gene, generates greater productive and adaptive potential. In this sense, the present study aims at a systematic review of references on the frizzle variety of chickens in four databases: Google Scholar, CAPES Journals, PubMed and SciELO. The method used was systematic research based on exclusion criteria in screening, using the descriptors “Galinhas” (Chicken), “Frisadas” (Frizzle) and “turned feathers” from the years 1994 to 2020, and selecting articles in 3 stages of screening to ascertain those related to the frizzle characteristic of the feather (morphobiology, mutation and adaptation). 1,885 articles were found, of which 49 were selected in the final screening. The period with the highest publication was 2014. The country with the largest number of publications was China, with a low rate of work in the Latin American continent, especially in Brazil, one of the largest chicken producers, and with a low rate of articles about that specimen. In scientific production by continent, Asia and Africa stood out in the amount of articles published being. Also highlighted is the survey of information on the frizzle variety that has an unknown origin, as well as its productive performance superior to that of non-frizzle chickens. The mutation responsible for the phenotype may be occurring in the KRT75 gene, the result of an 84 bp deletion. However, the true genetic factor determining the frizzle feather phenotype in Brazilian chickens is not known. The data collected also demonstrate the interest of the main economic powers such as China and Asian countries, where this frizzle mutation probably arose, its importance for research and productive potential for small breeders.

**Keywords:** frizzle feather; creepy; adaptation.

## 2.1 INTRODUÇÃO

As galinhas são animais de grande importância mundial por serem fonte de carne e ovos na alimentação humana, sendo consideradas como principal fonte de proteína do mundo e, conseqüentemente, atuam como importante fonte de renda para pequenos e médios produtores (LEDUR et al., 2007; TAKAHASHI et L., 2006). Os sistemas de criação diversificados também são importantes para estimular a escolha dos criadores por esta espécie.

No mundo a avicultura tem sido de alta relevância para geração de empregos e conta com participação direta do produtor rural. Tudo é aproveitado na galinha, sendo que a carne e ovos são cada vez mais presentes na mesa da população. Os ovos e a carne do frango possuem excelentes composições nutricionais para a alimentação humana, seu elevado valor proteico, grande quantidade de aminoácidos essenciais e baixo custo de produção com rápido retorno tornam essa espécie essencial para nutrição humana (CAMPBELL, 2011). Para o agricultor familiar a criação de galinhas para o consumo de ovos e comercialização é a base alimentar para muitas famílias de baixa renda.

Os Estados Unidos lideram o ranking de produtor de carne maior produtor de frango (USDA 2020). Dados da ABPA de 2019, revelam que o Brasil foi o segundo maior produtor da carne de frango no mundo, com cerca de 13 milhões de toneladas produzidas, ultrapassando a China.

Atualmente, mesmo com a pandemia provocada pelo vírus SARS-COV-2, o país ocupa a posição de maior exportador mundial e de segundo maior produtor de carne de frango, de acordo com dados da USDA (2020). O Brasil exportou carne de frango para 142 países, abrangendo todos os continentes, sendo Ásia e África os maiores consumidores do nosso mercado avícola segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2016).

O crescimento da avicultura está principalmente atrelado ao desenvolvimento científico, à mudança do padrão alimentar da população, à globalização econômica, à elevada produção com baixo custo, e ao alto consumo da carne de frango (GARCIA, 2019).

Com o desenvolvimento demográfico em expansão, é necessário que a produção alimentar acompanhe de forma gradativa a demanda nutricional para manter e aprimorar a qualidade alimentar nacional. O melhoramento genético para produção avícola tem sido cada vez mais estimulado para incluir informações genotípicas e fenotípicas de diversas raças de forma cumulativa, que visam melhorar a eficiência da seleção e consequentemente a produção (EMBRAPA, 2014; WATANABE, 2016; FAO 2020).

No Nordeste brasileiro, a avicultura nos estados do Maranhão, Ceará, Rio Grande do Norte e Piauí possuem baixa produção comparado a outros estados nordestinos. O Piauí possui o menor índice de abate de frangos do Brasil (0,13%) (ABPA, 2018), sendo que esse índice está atrelado a tradição de criação de galinhas caipiras nesses estados, por isso é necessário estudos que visem esse sistema de criação, onde o mesmo possui poucos dados, onde o agricultor familiar tem sido pouco visado em pesquisas.

Nesta região, a criação de galinhas caipiras tem sido afetada principalmente pelas altas temperaturas anuais. Isso afeta seu desempenho, e consequentemente prejudica o criador rural que em geral não possui condições de reverter tais condições ambientais (SANTOS, 2014; SHEHATA et al., 2020).

O desenvolvimento reduzido em função desta condição ambiental local (YUNIS e CAHANES, 1999; MAHROUS et al., 2003; CHEN et al., 2009), direciona o manejo do galinheiro para melhorar as condições de conforto do animal, pois é evidente que os atributos climáticos podem favorecer ou prejudicar o desempenho das galinhas (NÓBREGA et al., 2011).

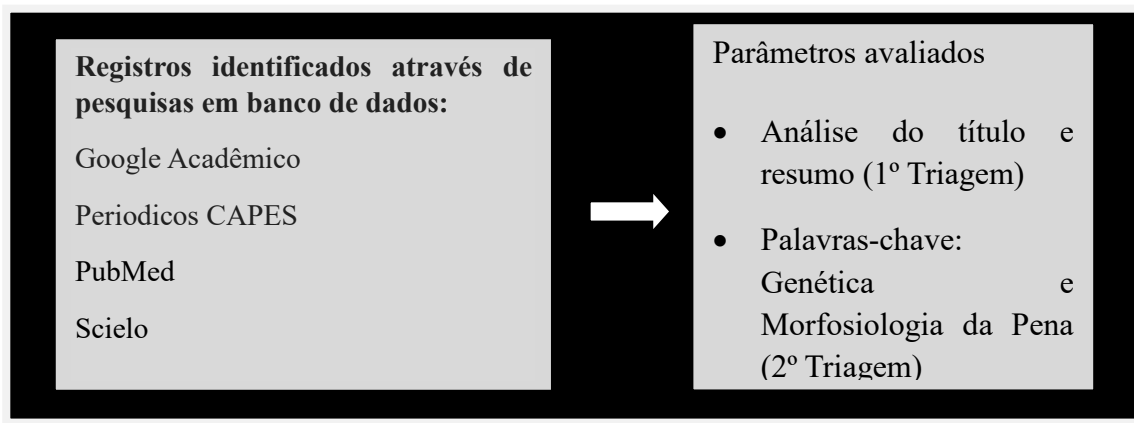
A utilização de galinhas adaptadas ao clima pode reduzir essas respostas negativas ao estresse térmico ou até diminuí-lo (KUMARI, 2018). Uma dessas linhagens se destaca por seu papel adaptativo em climas tropicais, as galinhas de penas frisadas ou arrepiadas. Pouco se conhece a respeito dessa variedade, por isso, são necessárias pesquisas que difundam mais informações a esse respeito.

Neste sentido, objetivou-se com esta pesquisa realizar uma revisão sistemática da literatura sobre aspectos genéticos e morfofisiológicos da variedade frisada de galinhas caipiras.

## 2.2 METODOLOGIA

A revisão sistemática de literatura sobre galinhas da variedade frisada utilizou estudos que abrangem o período que vai de 1994 a 2020. Foram realizadas buscas de artigos relacionados a este tema durante os meses de setembro a outubro de 2020, em quatro bases de dados previamente selecionadas: *Google Acadêmico*, *Periódicos CAPES*, *Pub Med* e *SciELO – Scientific Electronic Library Online*. Para a consulta, foram definidos os seguintes descritores: “Frisada” (*Frizzle*), “Arrepiada” e “Penas Viradas”, todos eles combinados a “galinhas” e/ou “frango” (*Chicken*), não foram incluídas citações nas configurações de busca das bases. Os dados encontrados foram organizados em formato de tabela com os campos: título do artigo, nome dos autores, país, ano de publicação, descritores e caracterização do artigo.

O país considerado na pesquisa foi referente ao endereço fornecido pelo primeiro autor do artigo. Também foram extraídas informações sobre a galinha frisada de acordo com os parâmetros elencados na Figura 1.



**Figura 1** – Banco de dados avaliados, e parâmetros avaliados para seleção de artigos sobre a variedade frisada.

Com isso, a seleção dos artigos aconteceu em três etapas para cada base de dados, sendo que, na **primeira etapa**, utilizou-se o título e o resumo como critérios de seleção (por exemplo, se os artigos tratavam do estudo envolvendo ou não a variedade de galinha frisada) e a exclusão de artigos repetidos. A **segunda etapa** correspondeu a triagem dos trabalhos que utilizaram parâmetros genéticos e morfofisiológicos, sendo selecionados os artigos que trabalharam com análise, caracterização, comparação ou melhoramento genético dessa variedade (Figura 1). Na **terceira etapa**, selecionou-se somente os trabalhos que utilizaram esses parâmetros voltados direta ou indiretamente ao conhecimento da característica frisada (morfofisiologia da pena, análise da mutação, e efeito adaptativo).

## 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Levantamento sistemático de artigos envolvendo a variedade frisada

Após aplicação dos critérios de exclusão e triagem, foram contabilizados 49 artigos envolvendo a variedade frisada com parâmetros voltados direta ou indiretamente a essa característica (morfofisiologia da pena, mutação e efeito adaptativo), sendo estes classificados de acordo com a etapa da triagem (1º/2º e 3º) e banco de dados analisados (Tabela 1).

**Tabela 1** - Número de artigos encontrados e selecionados em ordem crescente.

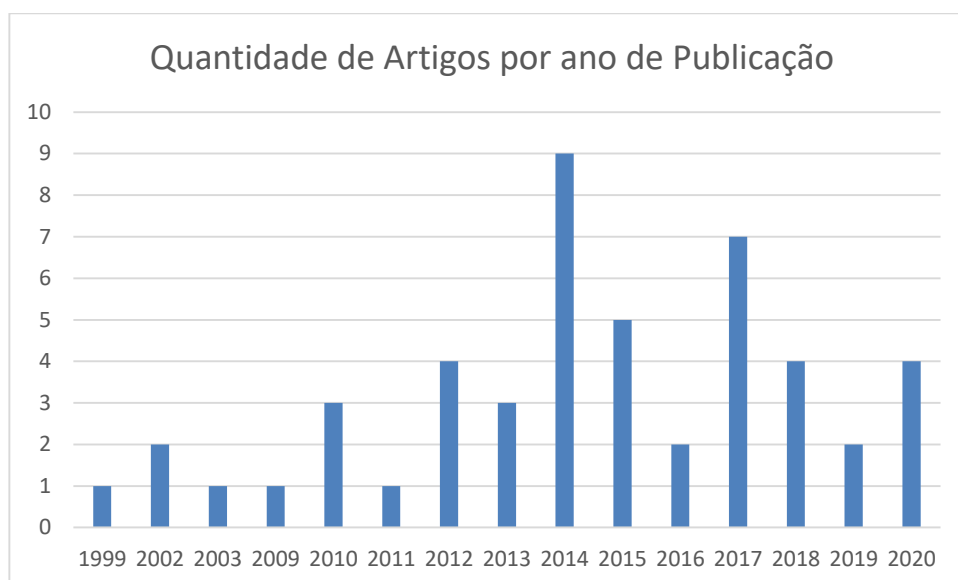
BASE DE DADOS	ARTIGOS ENCONTRADOS	ARTIGOS	ARTIGOS
		SELECIONADOS – 1 e 2º TRIAGEM	SELECIONADOS – 3º TRIAGEM
Google Acadêmico	1759	137	25
Periódicos CAPES	99	26	19
PubMed	24	6	5
SciELO	3	3	0
<b>TOTAL</b>	1885	172	49

Dentre as bases de dados analisadas foram encontrados 49 artigos. A base Google Acadêmico foi a que mostrou maior quantidade de trabalhos, totalizando 1759 artigos, sendo 25 deles selecionados, em seguida a base Periódicos CAPES com 99 artigos encontrados e 19 selecionados, Pub Med com 24 artigos encontrados e 5 selecionados, e SciELO com apenas 3 artigos encontrados e nenhum selecionado.

A base com maior aproveitamento de artigos (considerando a quantidade encontrada e a quantidade final) é o *Pub Med*, com cerca de 20,83% de aproveitamento. Acerca da precisão (considerando a quantidade de artigos excluídos) a base de dados *Periódicos CAPES* teve maior eficiência sobre os descritores informados. A maioria das bases de dados analisadas não são precisas quanto ao termo utilizado, gerando artigos com temas diferenciados, ou generalizantes.

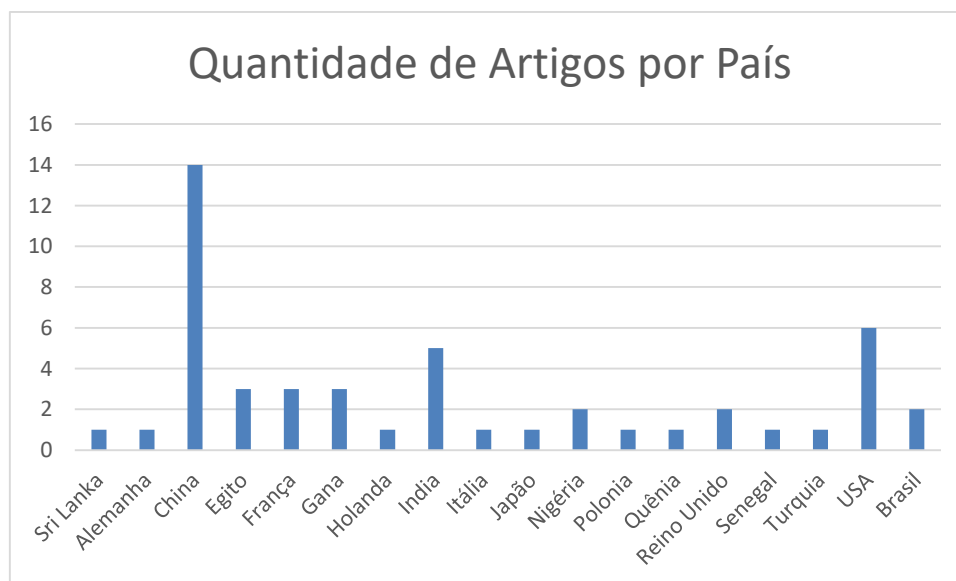
A base de dados do *Google Acadêmico* gera um índice robusto acerca dos descritores utilizados, porém ao checar a relação do termo com os resultados, grande parte dos artigos encontrados não tinham relação direta ou indiretamente com o termo. Isso também se deve ao fato dessa base utilizar termos análogos e também localizar o termo descrito em partes do documento encontrado.

Os artigos selecionados abrangiam de 1999 a 2020, sendo o ano de 2014 com maior número de artigos publicados e os anos de 1999, 2003, 2009, 2011 e 2019 com menor número de artigos publicados (Figura 2). É importante notar a ausência de artigos publicados no período de 2004 a 2008 um espaço de tempo de 5 anos sem publicação sobre galinhas frisadas.



**Figura 2** - Quantidade de artigos por ano de publicação.

Quanto à origem dos artigos foram encontrados 18 países (Figura 3), sendo destaque o número de publicações da China (14 publicações) equivalendo a 28,7% dos artigos elencados.

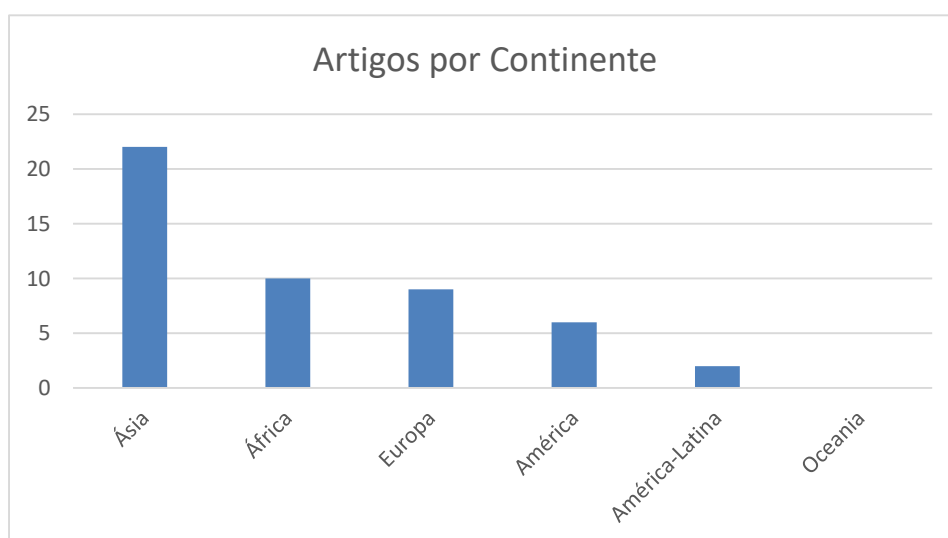


**Figura 3** - Quantidade de artigos por país de origem.

Em seguida os Estados Unidos da América (6 publicações) e a Índia (5 publicações). A galinha frisada provavelmente tem origem na China, por isso pode-

se destacar o interesse do país nessa variedade, sendo estas aves encontradas com maior facilidade no seu território. É interessante notar a presença da produção científica na Índia, que valoriza a avicultura familiar com uso de raças nativas (RAJKUMAR, 2021) possui o clima semelhante ao do Brasil e mostra interesse no uso de galinhas frisadas. Esse resultado evidencia 3 (três) grandes potências econômicas que inserem recursos para o estudo científico da variedade, demonstrando o potencial da galinha frisada para seu comércio e consequentemente para sua economia (FAO, 2020). Isso se deve ao fato desses países terem maior preocupação na manutenção e conservação da variabilidade genética avícola e de seus recursos genéticos originais, visto que nos ramos de maior produção há baixa variabilidade genética nas aves, e tornam-se necessárias tais intervenções.

Dos três maiores produtores mundiais de frango, somente o Brasil demonstrou poucos artigos em relação ao interesse científico na análise de galinhas frisadas, sendo o país um grande produtor, porém com baixa pesquisa na área e um exportador de material genético para outros países (RODRIGUES, 2014). EUA, China e Índia têm demonstrado constantes pesquisas relacionadas a galinhas nativas com potencial zootécnico para buscar variações genéticas que sejam vantajosas para o mercado e indústria (USDA, 2020). Por continente é demonstrada a predominância da Ásia em relação aos demais, com quase metade dos artigos selecionados (22 artigos). O continente Africano também se destaca (10 artigos) considerando a busca realizada (Figura 4).



**Figura 4** - Artigos selecionados por continente.

Isso demonstra interesse na pesquisa de galinhas nativas de variadas regiões. Países como Egito, Senegal e Nigéria possuem diversos trabalhos com aves nativas, e se desenvolvem com novas tecnologias genéticas para o estudo de variadas raças e variações de galinhas africanas (RASHEED, 2019).

Cabe destacar a baixa produção científica dos países da América-Latina na pesquisa (Figura 4) voltada para galinhas frisadas, evidenciando o atraso científico e tecnológico das nações compõe tal continente (PINTO, 2016). Por esse motivo são necessários mais estudos nessa região sobre a variedade frisada de galinhas caipiras, visto que ela se adapta muito bem ao clima tropical e tem demonstrado potencial para produtividade.

Sobre as informações dos artigos selecionados, foi dividido em 3 eixos voltados a característica frisada da pena (Morfisiologia da Pena, Análise da Mutação e o Efeito Adaptativo do *frizzle*), dando destaque a três dos artigos selecionados por seu fator de impacto (Tabela 2).

O artigo destaque sobre a morfofisiologia da pena foi voltado para o estudo dos aspectos da  $\beta$ -queratina na formação da barbula e seu contorno em galinhas frisadas (KOWATA, 2014), que trata da expressão gênica do gene responsável pela expressão da plumagem e seus aspectos fisiológicos e consequências na forma e produção nas galinhas.

O artigo de análise da mutação no gene *KRT75* para essa característica (NG, 2012) vai identificar a deleção em tal gene que indica ser o principal fator para a curvatura da pena em galinhas frisadas, bem como a interação desse gene com diversos outros aspectos como: aumento dos órgãos internos e diminuição do estresse térmico.

O estudo sobre o efeito adaptativo superior em comparação a outras galinhas em relação ao estresse térmico (ZERJAL, 2013) trata de comparar o desempenho das galinhas frisadas em diversos ambientes pré-estabelecidos pelos autores. Estes identificam certos padrões térmicos em comparação a outros tipos de galinhas, e por isso as consequências dos efeitos térmicos para produção têm se tornado cada vez mais estudados, visto que é um fator essencial para produção e manutenção desses animais.



**Tabela 2** - Artigos destacados conforme o eixo de assunto e fator de impacto.

Artigo	Autor/Ano	País	Eixo
Identificação de um gene de $\beta$ -queratina de pena expresso exclusivamente em células da bárbula penácea de penas de contorno em galinhas.	Kinue Kowata, 2014	Japão	Morfisiologia da Pena
A pena de <i>frizzle</i> de frango é devido a uma mutação $\alpha$ -queratina ( <i>KRT75</i> ) que causa uma raque defeituosa.	Chen Jiang Ng, 2012	China	Análise da Mutação
Comparação de desempenho de galinhas poedeiras segregando para o gene <i>frizzle</i> sob temperatura ambiente termo neutra e alta.	T. Zerjal, 2013	França	Efeito Adaptativo do <i>frizzle</i>

### Considerações acerca das informações levantadas na busca bibliográfica

- *A seleção de características adaptativas em aves para climas tropicais*

Os fatores climáticos, incluindo o aumento da temperatura, podem gerar danos ao crescimento, a reprodução e a produção das espécies pecuárias (OSEI-AMPONSAH *et al.* 2019). Em quase todas as regiões, a elevação da temperatura leva a alteração do foto período e a diminuição da precipitação, que causa redução da qualidade e quantidade da alimentação animal, menor disponibilidade de água e alta suscetibilidade a doenças (ANGEL *et al.* 2018).

Adaptações morfológicas aos sistemas agrícolas das zonas rurais já tem sido utilizada em estudos na Nigéria visando o melhoramento de raças em relação ao estresse térmico e produção. A facilidade de uma raça se adaptar a certo ambiente também é uma grande vantagem para superar os desafios da produção avícola (RASHEED, 2019, ABIOJA *et al.*, 2020).

Na atualidade tem-se observado cada vez mais a exploração de características, alterações genéticas e variações de raça que ajudem a otimizar a produção de frangos. Alguns exemplos são as galinhas de plumagem tardia (GALAL e YOUNIS,

2006), de penas frisadas (*frizzle*) (GALAL e FATHI, 2001; NWACHUKWU et al., 2006a; MAHROUS et al., 2003; 2008) e pescoço pelado (GALAL e FATHI, 2002; MAHROUS et al., 2003; 2008).

Tais linhagens têm sido estudadas e vêm demonstrando resultados favoráveis à produtividade e à resistência em climas tropicais (KUMARI, 2018).

- *A variedade frisada (frizzle) em Gallus gallus domesticus*

A variedade de galinhas de penas frisadas, também conhecida como “arrepia”, apesar de poucos trabalhos e dados fenotípicos e genotípicos escassos, tem se diferenciado por descobertas vantajosas para produção e adaptabilidade, sendo essencial um levantamento dos atuais estudos sobre essa ave (SHOLE, 2020).

A variedade frisada é de origem ainda desconhecida, porém existem algumas evidências de que tenha se originado da Ásia (BASSOM, 2009). De fato, a variedade frisada não é tão nova assim, sendo mencionada pela primeira vez no século XVII, quando Charles Darwin a cita em seus documentos chamando de “*Caffie Fowl*”, e que eram encontradas predominantemente na Índia (PERCY, 2006). Por ter essa aparência atípica foram logo disseminadas por todo ocidente, não tendo, até então, muita atenção científica, somente estética.

Na atualidade esta característica de penas frisadas está sob riscos devido a cruzamentos indiscriminados e perda do material genético original (GWAZA 2016). As penas frisadas têm sido descritas como um padrão expresso por um gene autossômico de dominância incompleta, no qual os eixos das penas e contorno são encurvados, permitindo maior dissipação do calor (KUMARI, 2018; GALAL E FATHI, 2001).

De acordo com Nwachukwu et al. (2006b) a comparação de galinhas com penas frisadas com outras variedades de plumagens selvagens mostrou que o genótipo *frizzle* se sobressaiu positivamente quanto a tolerância ao estresse térmico via testes com tratamento em diferentes temperaturas. Há também evidências recentes quanto ao uso da linhagem de penas frisadas indicando desempenho superior as aves não-frisadas e que isso pode ser explorado na produção de frangos ou galinhas caipiras (ADOMAKO et al., 2014a; 2014b; REDDY et al., 2015; KUMARI, 2018).

É provável que essa característica seja determinada por uma deleção de 84 pb em uma região do gene *KRT75*, posicionada na junção do éxon 5 e íntron 5 (chrE22C19W28\_E50C23: 658, 389-658, 472, número de acesso do GenBank: JQ013796). Este gene é conhecido por codificar a proteína *alfa II-queratina IIB do tipo II* que é responsável pela morfofisiologia da pena (MADERSON, 2009; ALIBARDI, 2013; NG et al., 2012). No entanto, não se conhece o verdadeiro fator genético determinante do fenótipo de penas frisadas nas galinhas nordestinas já que, potencialmente, existe a possibilidade de a mutação ocorrer em outra posição do gene *KRT75* ou mesmo fora dos domínios deste gene, como relatado em galinhas frisadas chinesas (DONG, 2018).

## 2.4 CONCLUSÕES

Os dados levantados demonstram o interesse das principais potências econômicas sobre a variedade frisada, sua importância para pesquisa e potencial produtivo. Do mesmo modo evidencia a falta de pesquisas na América Latina sobre esse importante recurso animal e a importância do levantamento de pesquisas bibliográficas acerca de tal espécime para o melhor gerenciamento e avanços em pesquisas científicas futuras.

## REFERÊNCIAS

ABPA. **Associação Brasileira de Proteína Animal**. Relatório Anual, 2017.

ADOMAKO, K. et al. Effect of the frizzle gene (F) on egg production and egg quality of laying hens kept in tropical villages. **British poultry science**, v. 55, n. 6, p. 709-714, 2014b.

ADOMAKO, K. et al. Growth performance of crossbred naked neck and normal feathered laying hens kept in tropical villages. **British poultry science**, v. 55, n. 6, p. 701-708, 2014a.

ALIBARDI, Lorenzo. Immunolocalization of alpha-keratins and feather beta-proteins in feather cells and comparison with the general process of cornification in the skin of mammals. **Annals of Anatomy-Anatomischer Anzeiger**, v. 195, n. 2, p. 189-198, 2013.

ANGEL, S. P. et al. Climate Change and Cattle Production-Impact and Adaptation. **J. Vet. Med. Res**, v. 5, p. 1134, 2018.

BASSOM, Frances. **Mini encyclopedia of chicken breeds & care: a color directory of the most popular breeds and their care**. Bufflao, NY; Richmond Hill, Ont.: Firefly Books, 2009.

CAMPBELL, Bruce; LACK, Elizabeth (Ed.). A dictionary of birds. A&C Black, 2011.

DA NÓBREGA, Giovanna Henriques et al. A produção animal sob a influência do ambiente nas condições do semiárido nordestino. **Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável**, v. 6, n. 1, p. 9, 2011.

DE NOVAES VIANNA, Luiz Fernando. Antropoceno e o COVID-19: **Uma era de integração ou de controle da Natureza?**. Revista Brasileira de Meio Ambiente, v. 8, n. 1, 2020.

DONG, Jing et al. A novel deletion in KRT75L4 mediates the frizzle trait in a Chinese indigenous chicken. **Genetics selection evolution**, v. 50, n. 1, p. 1-9, 2018.

EMBRAPA ALGODÃO. **Marcadores moleculares como ferramentas para estudos de genética de plantas**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 35 p. ISSN: 0103-0205, 2006.

FAO. PUBLICATIONS of the FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. 2013. Available from:  
<<https://pt.scribd.com/document/192286278/Publicationsof-FAO-in-2013#download>>. Accessed: Feb. 20, 2020.

GALAL, A.; FATHI, M. M. Improving carcass yield of chicken by introducing naked neck and frizzle genes under hot prevailing conditions. **Egyptian Poultry Science**, v. 21, p. 339-362, 2001.

GALAL, A.; YOUNIS, H. H. Minimising residual feed intake by introducing dwarf and naked neck genes in laying chicken. *Egyptian Poultry Science*, v. 25, p. 677-694, 2006.

GARCIA, Danitiele Almas; GOMES, Deriane Elias. A avicultura brasileira e os avanços nutricionais. **Revista Científica**, v. 1, n. 1, 2019.

GWAZA, D. S.; NACHI, E. D. Frequency and effects of frizzle genes on body weight of the frizzle feathered bird on free range in selected populations of nigerian local chicken. *Journal of Animal Production Research*, v. 27, n. 1, 2016.

IRANMANESH, M. et al. A molecular genome scan to identify DNA segments associated with live weight in Japanese quail. **Mol. Biol.Rep.**, v. 43, p. 1267–1272, 2016.

JOHNSGARD, Paul A. Grouse of the world. University of Nebraska Press, 1983.

JOHNSGARD, Paul A. Pheasants of the World. Smithsonian Institution Press, 1999.

JONES, Darryl N.; DEKKER, W. R. J.; ROSELAAR, Cees S. The Megapodes, megapodiidae, Bird Families of the world. 1995.

KOWATA, Kinue *et al.* Identification of a feather  $\beta$ -keratin gene exclusively expressed in pennaceous barbule cells of contour feathers in chicken. *Gene*, v. 542, n. 1, p. 23-28, 2014.

KUMARI, K.; NARENDRA NATH, D. Ameliorative measures to counter heat stress in poultry. **World's Poultry Science Journal**, v. 74, n. 1, p. 117-130, 2018.

LEDUR, Mônica Corrêa et al. O uso de marcadores moleculares na produção de aves. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, CONGRESSO INTERNACIONAL DE ZOOTECNIA**. 2007.

MADERSON, Paul FA et al. Towards a comprehensive model of feather regeneration. **Journal of morphology**, v. 270, n. 10, p. 1166-1208, 2009.

MADGE, Steve; MCGOWAN, Philip JK; KIRWAN, Guy M. **Pheasants, partridges and grouse: a guide to the pheasants, partridges, quails, grouse, guinea fowl, buttonquails and sandgrouse of the world**. A&C Black, 2002.

MAHROUS, M. et al. Impact of naked neck (Na) and frizzle (F) genes on growth performance and immunocompetence in chickens. **International Journal of Poultry Science**, v. 7, n. 1, p. 45-54, 2008.

MAHROUS, M. Y. et al. Improving productivity of layer chickens in hot environmental condition by introducing naked neck and frizzled genes. **Egyptian Poultry Science**, v. 23, p. 393-408, 2003.

MAPA, Brasil; BRASÍLIA, D. F. Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Disponível em: Acesso em, v. 5, n. 10, p. 2016, 2016.

- NG, Chen Siang et al. The chicken frizzle feather is due to an  $\alpha$ -keratin (KRT75) mutation that causes a defective rachis. *PLoS Genet*, v. 8, n. 7, p. e1002748, 2012.
- NONES, K. et al. Mapping QTL son chicken chromosome 1 for performance and carcass traits in a broiler x layer cross. **Animal genetics**, v. 37, n. 2, p. 95-100, 2006.
- NWACHUKWU, E. N.; IBE, S. N.; EJEKWU, K. Short term egg production and egg quality characteristics of main and reciprocal crossbred normal local, naked neck and frizzle chicken X exotic broiler breeder stock in a humid tropical environment. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 2006.
- OLIVEIRA, E. J. et al. Origin, evolution and genome distribution of microsatellites. **Genetics and Molecular Biology**, v.29, n.2, p.294-307, 2006.
- OSEI-AMPONSAH, Richard et al. Genetic selection for thermotolerance in ruminants. **Animals**, v. 9, n. 11, p. 948, 2019.
- PERCY, Pam. The field guide to chickens. Voyageur Press, 2006.
- PINTO, Antonio Clarel Rozão. O ATRASO TECNOLÓGICO NA AMÉRICA LATINA.
- RAJKUMAR, U. et al. Backyard poultry farming for sustained production and enhanced nutritional and livelihood security with special reference to India: a review. *Tropical Animal Health and Production*, v. 53, n. 1, p. 1-13, 2021.
- RASHEED, Amao Shola. Productive Potentials of Backcrossed Nigerian Indigenous Chickens with Exotic Birds Under Southern Guinea Savanna Zone of Nigeria, I-Egg Production Performance. **Journal of Animal and Veterinary Sciences**, v. 6, n. 1, p. 1-7, 2019.
- REDDY, M. P; SARLA, N.; SIDDIQ, E. A. Intersimple sequence repeat (ISSR) polymorphism and its application in plant breeding. **Euphytica**, v.128, p.9-12, 2002.
- ROCHA, A. O. et al. O gene leptina e seu receptor no melhoramento genético de galinhas caipiras. **Embrapa Meio-Norte-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2020.
- RODRIGUES, Wesley Osvaldo et al. Evolução da avicultura de corte no Brasil. *Enciclopédia Biosfera*, v. 10, n. 18, 2014.
- SANTOS, Gleicianny de Brito et al. Estudo bioclimático das regiões litorânea, agreste e semiárida do estado de Sergipe para a avicultura de corte e postura. **Ciência Rural**, v. 44, n. 1, p. 123-128, 2014.
- SHEHATA, Abdelrazeq M. et al. Modulation of Heat-Shock Proteins Mediates Chicken Cell Survival against Thermal Stress. **Animals**, v. 10, n. 12, p. 2407, 2020.
- SHOLEH, Moch et al. **The morphological profiling of Indonesian frizzle chicken: A preliminary study of Javanese Gallus gallus domesticus**. In: AIP Conference Proceedings. AIP Publishing LLC, 2020. p. 040068.
- STILES, F. Gary et al. Guide to the birds of Costa Rica. Comistock, 1989.
- TAKAHASHI, S. E.; MENDES, A. A.; SALDANHA, E.S.P.B.; PIZZOLANTE, C.C.; PELÍCIA, K.; GARCIA, R.G.; PAZ, I.C.L.A.; QUINTEIRO, R.R. Efeito do sistema de

criação sobre o desempenho e rendimento de carcaça de frangos de corte tipo colonial. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.58, n.4, p.624-632, 2006.

USDA, US Department of Agriculture, Annual Report of Animal Production. 2020.

USDA. United States Department of Agriculture. **Dados de mercado e comércio.**

Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/advQuery> .

Acesso em 03 de abril de 2021.

WATANABE, Gustavo Eiji. O desenvolvimento da avicultura no Brasil e as tendências para os próximos anos. 2016.

YUNIS, Reem; CAHANER, AVIGDOR. The effects of the naked neck (Na) and frizzle (F) genes on growth and meat yield of broilers and their interactions with ambient temperatures and potential growth rate. **Poultry science**, v. 78, n. 10, p. 1347-1352, 1999.

ZANE, L.; BARGELLONI, L.; PATARNELLO, T. Strategies for microsatellite isolation: A review. **Mol. Ecol.**, v. 11, n.1, p. 1-16, 2002.

ZERJAL, Tatiana et al. Performance comparison of laying hens segregating for the frizzle gene under thermoneutral and high ambient temperatures. *Poultry Science*, v. 92, n. 6, p. 1474-1485, 2013.





### 3 ARTIGO 2: DESCRITORES E HERANÇA DE GALINHAS FRISADAS BRASILEIRAS

#### RESUMO

A variedade frisada de galinhas caipiras é uma linhagem mutacional do gene *frizzle* com origem desconhecida e tem se destacado por seu papel fundamental na adaptação em ambientes tropicais, bem como na seleção de aves com maior potencial produtivo. Em nível nacional, o gene *frizzle* ainda é pouco estudado, sendo necessária uma análise aprofundada do mesmo para se entender os seus padrões de segregação. Há relatos na literatura de sua importância na produtividade e na obtenção de outras características de interesse zootécnico. Nesse sentido, o presente estudo visa a caracterização genética e fenotípica de galinhas frisadas encontradas no Meio-Norte do Brasil. Após ampla prospecção pelos estados do Piauí e Maranhão, foram encontradas galinhas frisadas apenas nos municípios de Chapadinha (MA, n=5) e Queimada Nova (PI, n=6). Foram também utilizadas 09 galinhas de plumagem não frisada para análises comparativas. Foi feita uma análise de plumagem baseada função  $\theta(s)$  para inferência de genótipos das galinhas. No cruzamento usou-se o sistema de revezamento de matrizes, que se deu em duas hipóteses referentes à herança da mutação frisada. Foi também realizada a análise de 09 descritores qualitativos e 19 quantitativos. Utilizou-se o *software* R para análises de determinação e homogeneidade de frequências, análise de variância, teste de Scott-Knott, e análise de componentes principais (PCA). Foram aplicadas análises de agrupamento, pelo método hierárquico UPGMA (*Unweighted Pair Group Method With Arithmetic Mean*), com a distância de Gower e verificação da correlação cofenética. A análise de plumagem demonstrou padrões de curvaturas para galinhas frisadas, semelhante a resultados obtidos na literatura, inferindo a diferenciação dos genótipos *FF*, *Ff* e *ff*. Nos cruzamentos encontrou-se indícios de herança de dominância incompleta com presença dos genótipos *FF* e *Ff* para a característica frisada. As frequências qualitativas demonstraram padrões de plumagem, cor de pé, cor do metatarso, presença e ausência de topete e patas plumadas entre galinhas frisadas e não frisadas. Quanto a contribuição dos caracteres de interesse econômico (PCA), verificou-se associação de comprimento da coxa e corpo às galinhas frisadas, e características da sobrecoxa às galinhas não-frisadas. No método de agrupamento (UPGMA) observou-se a formação de 02 grupos, sendo um relacionado a predominância de galinhas frisadas e outro a galinhas não frisadas com a distância de Gower. O índice da correlação cofenética foi de 82%. As análises da plumagem juntamente com o teste de segregação permitiram inferir genótipos ligados às galinhas frisadas e sua possível herança. A descrição fenotípica qualitativa demonstrou padrões relacionados a conservação e antiguidade de caracteres, bem como características de interesse comercial caipira. As mensurações morfológicas de potencial produtivo como comprimento da asa e da coxa se destacaram nas galinhas frisadas estudadas, reforçando a contribuição das galinhas frisadas para a produção caipira.

**Palavras-chave:** *frizzle*; fenotipagem; mutação; adaptação;

## ABSTRACT

The frizzle variety of free-range chickens is a mutational strain of the frizzle gene with unknown origin and has stood out for its fundamental role in adapting to tropical environments, as well as in the selection of birds with greater productive potential. At the national level, the frizzle gene is still poorly studied, requiring a thorough analysis of it to understand its segregation patterns. There are reports in the literature of its importance in productivity and in obtaining other characteristics of zootechnical interest. In this sense, the present study aims at the genetic and phenotypic characterization of frizzle hens found in the Mid-North of Brazil. After extensive prospecting in the states of Piauí and Maranhão, frizzle hens were found only in the municipalities of Chapadinha (MA, n = 5) and Queimada Nova (PI, n = 6). Nine non-frizzle plumage chickens were also used for comparative analysis. A plumage analysis based on function  $\theta$  (s) was made for inference of chicken genotypes. At the crossing, the matrix relay system was used, which occurred in two hypotheses regarding the inheritance of the frizzle mutation. The analysis of 09 qualitative and 19 quantitative descriptors was also carried out. The R software was used for frequency determination and homogeneity analysis, analysis of variance, Scott-Knott test, and principal component analysis (PCA). Cluster analyzes were applied, using the UPGMA (Unweighted Pair Group Method With Arithmetic Mean) hierarchical method, with the Gower distance and verification of the cophenetic correlation. The plumage analysis showed curvature patterns for frizzle hens, similar to results obtained in the literature, inferring the differentiation of the genotypes FF, Ff and ff. At the crossings, evidence of inheritance of incomplete dominance was found, with the presence of the FF and Ff genotypes for the frizzle characteristic. Qualitative frequencies demonstrated patterns of plumage, color of feet, color of the metatarsus, presence and absence of tuft and feathered feet between frizzle and non-frizzle chickens. As for the contribution of characters of economic interest (PCA), there was an association of thigh and body length with frizzle hens, and characteristics of the thigh with non-frizzle hens. In the grouping method (UPGMA), the formation of 02 groups was observed, one related to the predominance of frizzle hens and the other to non-frizzle hens with Gower distance. The co-phenetic correlation index was 82%. The plumage analysis together with the segregation test allowed to infer genotypes linked to the frizzle hens and their possible inheritance. The qualitative phenotypic description demonstrated patterns related to the conservation and age of characters, as well as characteristics of commercial interest in the country. The morphological measurements of productive potential such as wing and thigh length stood out in the studied frizzle hens, reinforcing the contribution of frizzle hens to free-range production.

**Keywords:** frizzle; phenotyping; mutation; adaptation;

### 3.1 INTRODUÇÃO

As galinhas caipiras (*Gallus gallus domesticus*), também conhecidas como “galinhas de capoeiras”, fazem parte da ordem Galliforme família Phasianidae, sendo difundidas em todo território mundial com um efetivo de cerca de 24 bilhões de cabeças (FAO, 2020). Possuem hábitos diurnos e se alimentam principalmente de grãos e frutos. São conhecidas como frango na fase juvenil ou galo (macho) e galinha (fêmea) na fase adulta. É uma espécie panmítica de hierarquia comportamental agonística (BARBOSA-FILHO et al., 2007; ROCHA et al., 2020) sendo considerada a principal fonte de proteína no mundo (LEDUR et al., 2007).

Dados da Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA) de 2018 revelam que o Brasil foi o segundo maior produtor da carne de frango no mundo com cerca de 13 milhões de toneladas produzidas, ultrapassando a China e ficando atrás apenas dos Estados Unidos. Com o desenvolvimento demográfico brasileiro em expansão, é necessário que a produção alimentar acompanhe de forma gradativa a demanda nutricional para manter e aprimorar a qualidade alimentar nacional. Neste cenário, o melhoramento genético para produção avícola tem sido cada vez mais estimulado para incluir informações genotípicas e fenotípicas de diversas raças de forma gradativa e cumulativa, que visam melhorar a eficiência da seleção e consequentemente a produção (EMBRAPA, 2014; WATANABE, 2016; FAO, 2020).

No Meio-Norte brasileiro, a criação de galinhas caipiras tem sido afetada principalmente pelo calor, onde as temperaturas anuais médias costumam ser altas, reduzindo o desenvolvimento desses animais, sendo este um dos principais fatores que afetam a produção de aves (YUNIS e CAHANES, 1999; MAHROUS et al., 2008; CHEN et al., 2009; SANTOS et al., 2014). Dessa forma, o manejo do galinheiro está voltado a melhorar as condições de conforto e bem-estar do animal, pois é evidente que os atributos climáticos podem favorecer ou prejudicar a produtividade (DA NÓBREGA et al., 2011).

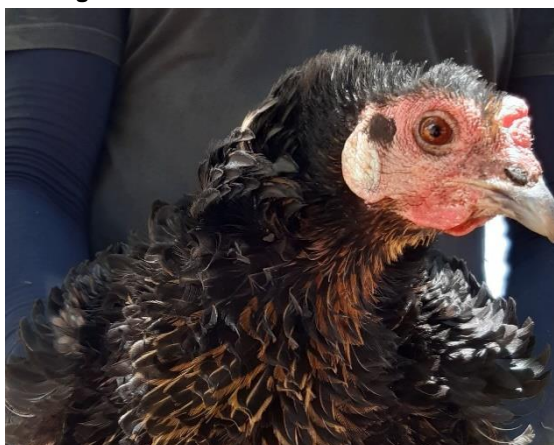
Geralmente os elementos necessários para obter tal conforto térmico são inacessíveis ao criador rural que muitas vezes utilizam o sistema extensivo (criação de forma solta), tendo assim prejuízos devido ao estresse térmico (SHEHATA et al., 2020). Considerando essas limitações, destaca-se o potencial da linhagem de penas

frisadas (Figura 1) com vistas a desenvolver medidas preventivas para diminuir o estresse causado pelo calor (KUMARI, 2018).

A exploração de características fenotípicas adaptativas, como as citadas anteriormente, é uma boa estratégia para melhorar o desempenho desses animais. A criação de galinhas com adaptações morfológicas aos sistemas agrícolas das zonas rurais já tem sido utilizada na Nigéria (RASHEED, 2019, ABIOJA et al., 2020). Alterações genéticas de raças ou variações que auxiliam na redução da temperatura têm sido demonstradas como vantajosas em características como plumagem tardia (GALAL e YOUNIS, 2006) e penas frisadas (*frizzle*) (GALAL e FATHI, 2001; NWACHUKWU et al., 2006a; MAHROUS et al., 2003; 2008), sendo amplamente estudadas fora do país.

Na sub-região Meio-Norte do Brasil, foi relatada a presença de galinhas de penas frisadas (VAN EEKEREN, 2006), porém, as informações sobre essa variação são escassas, especialmente utilizando dados genotípicos. As aves frisadas são raras e estão distribuídas de forma desigual neste território, além de serem criadas em locais de difícil acesso e sua expansão pode estar sendo prejudicada (GROMBONI, 2019). A origem dessa variedade ainda é desconhecida, porém existem evidências de que tenha se originado da Ásia (BASSOM, 2009).

**Figura 1** - Variedade de Galinha Frisada.



Na literatura, o padrão *frizzle* asiático é um fenótipo expresso por um gene autossômico (alelo *F*) com dominância incompleta (NG et al., 2012). Ainda não se sabe se essa herança é aplicável a galinhas da região Meio-Norte do Brasil.

O fenótipo frisado pode ser identificado em pintos de três a quatro dias de idade (GALAL e FATHI, 2001), nos quais os eixos das penas e contorno são encurvados, permitindo maior dissipação do calor (KUMARI, 2018). Quando a característica é expressa em homozigose dominante (*FF*) as penas caem com muita facilidade (STEVENSON, 1991). No estado heterozigoto (*Ff*), as penas têm ondulações menos acentuadas e são mais resistentes.

Essa complexa organização das penas permite uma variedade de potenciais mudanças morfológicas, como a dissipação do calor, tempo de plumagem, dissuasão do movimento e peso. A ação do gene “*frizzle*” causa modificações na estrutura da pena e também alterações nos órgãos internos (coração aumentado, baço, moela e canal alimentar), sendo esse aumento comum e perceptivelmente vantajoso para o desenvolvimento da produção em galinhas (NG *et al.*, 2012). Essa característica é uma mutação de deleção no gene *KRT75* conhecido por codificar uma proteína alfa II-queratina B do tipo II que é responsável pela morfofisiologia da pena (MADERSON, 2009; ALIBARDI, 2013; NG *et al.*, 2012).

De acordo com Nwachukwu *et al.* (2006b) a comparação de galinhas com penas frisadas com outras variedades de plumagens mostrou que o genótipo *frizzle* se sobressaiu positivamente quanto a tolerância ao estresse térmico. Há também evidências recentes quanto ao uso do gene de penas frisadas indicando desempenho superior as aves não-frisadas, e que isso pode ser explorado para utilização potencial na produção de frangos (ADOMAKO *et al.*, 2014a; 2014b; REDDY *et al.*, 2015; KUMARI, 2018). Também, esse gene tem efeitos pleiotrópicos em diversas características quantitativas importantes na produção animal (GALAL, 2001; EL-SAFETY, 2006; MAHROUS, 2008).

Consequentemente, a utilização de genes de penas frisadas em ambientes tropicais é incentivada e, no futuro, desempenhará um papel importante na produção de linhagens adequadas para aprimorar essas interações genótipo-ambiente (THIRUVENKADAN *et al.*, 2010; RAJKUMAR *et al.*, 2011; MAHROUS *et al.*, 2011). Com o estudo dessas características é possível obter dados fundamentais para o melhoramento animal, tais como possíveis adaptações a climas locais, maior produtividade e técnicas genéticas que visem a qualidade de vida avícola e resistência.

O estudo com penas de galinhas frisadas é realizado para conhecer melhor a correlação do crescimento da pena com o padrão alélico da espécie, vantagens da dissipação do calor e demais ações fisiológicas (NG *et al*, 2012). O conhecimento de tal variedade no Brasil permitirá que o criador mantenha as características favoráveis da sua criação, assim como introduzir de maneira ordenada genes capazes de responder positivamente ao manejo e as dificuldades encontradas em ambientes tropicais.

Essa mutação nas galinhas frisadas nordestinas pode não estar seguindo os padrões já descritos na literatura, pois existe a possibilidade de ser uma alteração diferenciada, como relatado em galinhas frisadas chinesas (DONG, 2018).

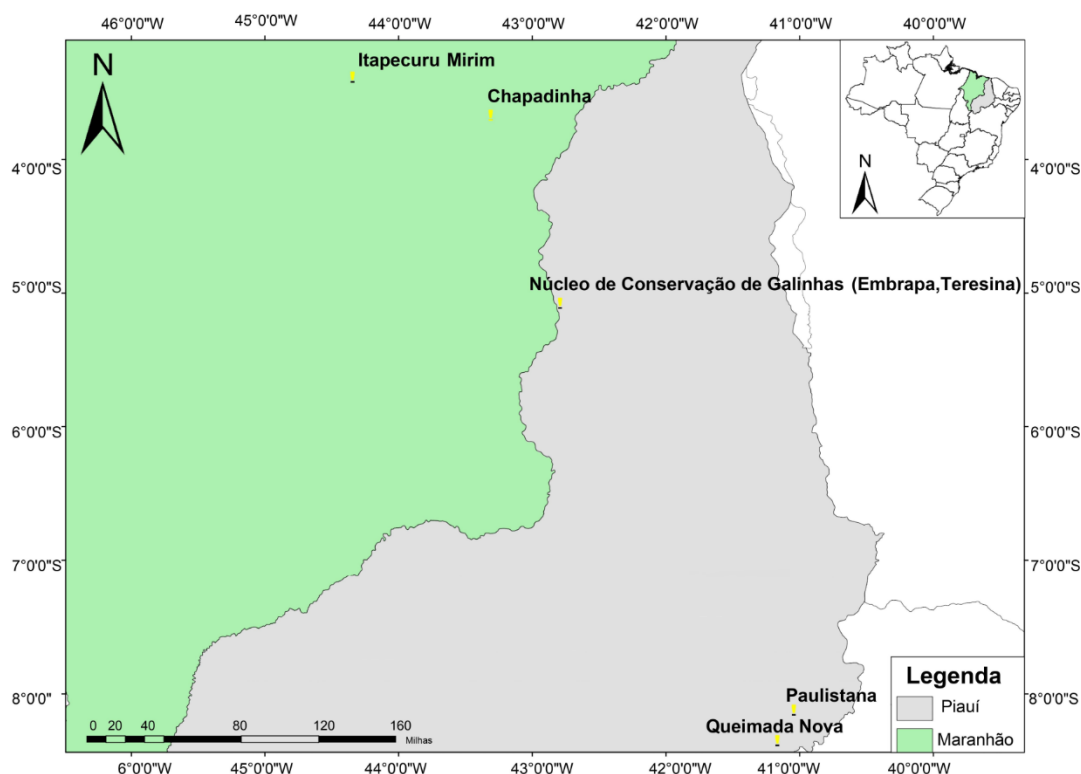
Portanto, com a finalidade de ampliar as informações sobre a atual variedade frisada de *Gallus gallus domesticus* no Meio-Norte brasileiro, considerando sua rara distribuição, esta pesquisa tem como objetivo a caracterização genética e fenotípica do padrão *frizzle*, bem como verificar sua herança mutacional, visando a conservação, manejo e uso sustentável da espécie em climas tropicais.

## **3.2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **3.2.1 Resgate e multiplicação de aves frisadas**

As aves frisadas são raras na sub-região do Meio-Norte além de ter baixa distribuição no território brasileiro (GROMBONI, 2019). O Núcleo de Conservação de Galinhas Caipiras fez levantamento em 20 municípios da sub-região elencada, onde somente 02 municípios apresentaram presença de galinhas frisadas.

Foram resgatadas 11 (onze) aves frisadas, sendo cinco no município de Queimada Nova-PI (8°34'59.3"S 41°25'04.1"W) e seis em Chapadinha-MA (3°44'24.0"S 43°21'51.0"W) (Figura 2). As coletas ocorreram no mês de outubro de 2019.



**Figura 2** - Locais de ocorrência das galinhas frisadas (Chapadinha e Queimada Nova) e pontos de coleta de galinhas com penas não frisadas (Itapecuru Mirim, Teresina e Paulistana) utilizadas para fins de comparação.

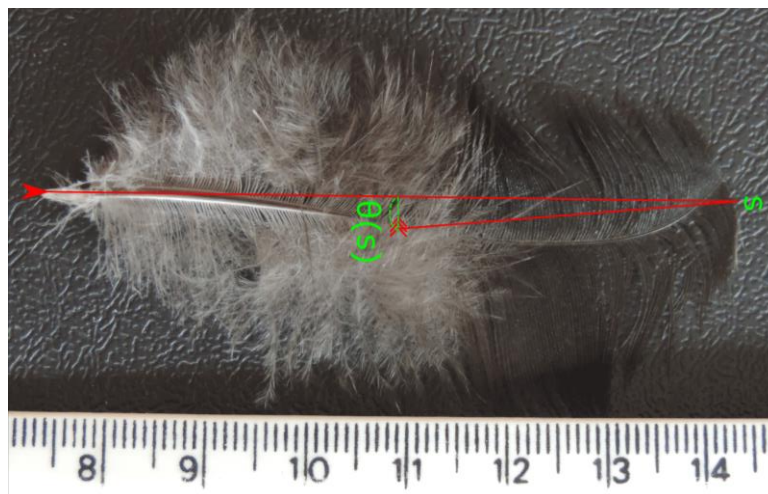
As aves frisadas foram abrigadas e multiplicadas no núcleo de conservação de aves da EMBRAPA Meio-Norte em Teresina-PI (5°02'08.7"S 42°47'50.2"W). Dentre as galinhas coletadas, apenas cinco (02 machos e 03 fêmeas) obtiveram sucesso nos acasalamentos e na geração da F1 ( $n = 12$  descendentes vivos). Deste total de galinhas, apenas 12 frisadas puderam ser utilizadas nas análises, sendo os demais indivíduos furtados, transferidos para outro município (por problemas logísticos causados pela pandemia da COVID-19) ou mortos (por causas naturais). Foram também utilizadas 09 galinhas de plumagem selvagem (galinhas não-frisadas) para análises comparativas.

### 3.2.2 Fenotipagem da plumagem para inferência dos genótipos

Foram coletados de 05 a 10 penas da região caudal e dorsal de 21 indivíduos (12 frisados e 9 não-frisados), sendo estas armazenadas em sacos a vácuo para análise da plumagem. As penas foram coletadas de indivíduos nativos de plumagem selvagem e penas de plumagem *Frizzle*. Utilizou-se câmera fotográfica Nikon Cooplix P520 para gerar imagem com base centimétrica das penas da região caudal (na posição dorsal e ventral) e da região dorso/ventral (na posição dorsal e ventral).

Foi definido a estrutura do eixo central segundo Chen Siang et al. (2012), para identificação dos genótipos *FF*, *Ff* e *ff* com base em sua curvatura diferencial. Foi utilizado o programa *ImageJ* devidamente calibrado para análise do comprimento e ângulo das penas.

O comprimento é determinado pela medida entre a base e a ponta da pena, em linha reta. A formação dos ângulos é representada pela função  $\theta$  (s), que é feita pela diferença da linha reta da base da raque em relação a metade do comprimento da pena (centro), refletindo a curvatura da pena em relação a reta (Figura 3). A ocorrência de ângulos significativamente diferenciados entre galinhas selvagens, frisadas e frisadas intensas é considerado como critério diagnóstico entre os genótipos *ff*, *Ff* e *FF*, respectivamente.



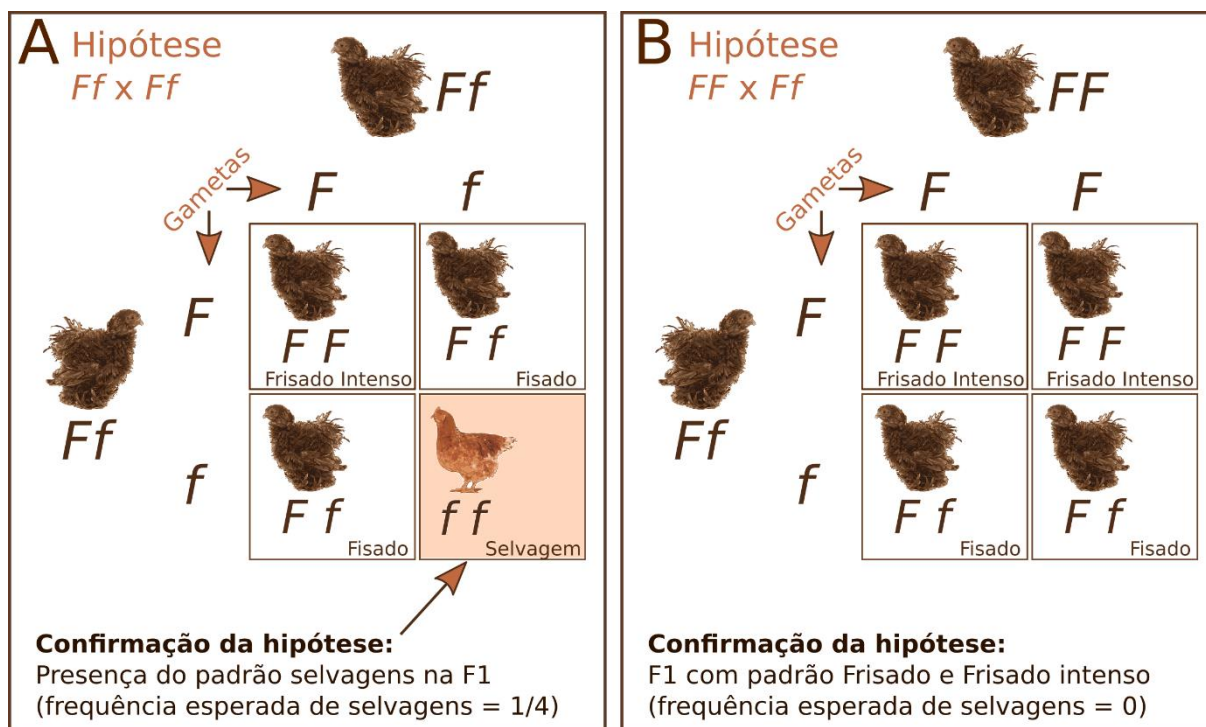
**Figura 3** - Estrutura eixo central de análise da plumagem, comparando penas de galinhas selvagens e frisadas para o gene F baseado e adaptado segundo Chen Siang et al (2012).

### 3.2.3 Teste de segregação e herança das aves frisadas

Para identificação do padrão de herança, as 05 aves frisadas que tiveram sucesso reprodutivo (02 machos e 03 fêmeas) foram devidamente identificadas, sendo os galos separados em piquetes e os ovos coletados e identificados.

O sistema de acasalamento para o teste de segregação foi feito em revezamento de matrizes, que se deu em duas hipóteses: (a) galinhas frisadas heterozigotas; (b) galinhas frisadas com um reprodutor homozigoto dominante e outro heterozigoto (Figura 4). As hipóteses mencionadas foram formuladas em função da análise visual dos fenótipos obtidos (frisado ou frisado intenso). A prole gerada também foi utilizada com vistas à multiplicação dessa variedade rara.





**Figura 4** – A: 1ª Hipótese do cruzamento de indivíduos heterozigotos para o genótipo Frizzle. B: 2ª Hipótese do cruzamento de indivíduos  $FF/FF$  para o genótipo Frizzle.

No caso da manifestação da F1 de um indivíduo de plumagem selvagem (sem *frizzle*) seria constada a heterozigose dos parentais. Na 2ª hipótese deve ocorrer a ausência de indivíduos com penas selvagens, podendo ser constatada a presença de pelo menos um parental em homozigose. Se demonstrado nas duas hipóteses a validade de suas conclusões, é manifesto a herança por dominância. Além disso, também foi considerada a análise da fenotipagem das penas para se inferir se o padrão de herança se dá por dominância simples ou dominância incompleta. A ocorrência da dominância incompleta será avaliada considerando-se a presença de indivíduos com penas com “*padrão genotípico  $FF$* ” distinguíveis do “*padrão genotípico  $Ff$* ” conforme o método de Chen Siang et al. (2012) acima descrito. Foi usado o programa *Progeny Online Pedigree Drawing* (POPD) para construção do heredograma.

A prole foi separada por cruzamento e devidamente identificada, sendo analisada posteriormente quanto ao seu padrão de plumagem. Os animais analisados foram mantidos sob regime *ad libitum* de ração e água, sob temperatura ambiente nos meses de janeiro e fevereiro de 2020.

### 3.2.4 CARACTERIZAÇÃO FENOTÍPICA PARA DESCRITORES MORFOLÓGICOS

Esta etapa da pesquisa visou a comparação de descritores morfológicos comumente utilizados em galinhas, considerando suas medidas em galinhas frisadas e galinhas com padrão de penas selvagem.

#### 3.2.4.1 Caracterização fenotípica

Foram mensuradas 12 (doze) aves do grupo frisado sendo 04 machos e 08 fêmeas, (04 parentais e 08 filhos). Ressalta-se que dos 05 parentais inicialmente utilizados na proposta, apenas 04 foram utilizados, pois um foi ilicitamente subtraído do local de pesquisa. Além das galinhas frisadas, também foi utilizada uma unidade teste (UT) de 09 (nove) galinhas com padrão de penas selvagem (01 macho e 08 fêmeas) advindas de Paulistana-PI (8°08'17.2"S 41°08'20.6"W) e Itapecuru Mirim-MA (8°08'17.2"S 41°08'20.6"W) (Figura 2), totalizando 21 indivíduos mensurados sem raça definida (SRD). Todas as aves foram medidas aos 10 meses de idade. A identificação, sexo e local pode ser vista na Tabela 1.

**Tabela 1** - Indivíduos mensurados por grupo, identificação, sexo e local de criação.

<i>Grupo</i>	<i>Identificação</i>	<i>Sexo</i>	<i>Local</i>
Frisados	P050	M	Chapadinha-MA
	P049	F	Chapadinha-MA
	P046	F	Queimada Nova-PI
	P048	F	Queimada Nova-PI
	F1001	M	Teresina-PI
	F1002	F	Teresina-PI
	F1003	F	Teresina-PI
	F1004	F	Teresina-PI
	F1005	F	Teresina-PI
	F1006	M	Teresina-PI
	F1007	F	Teresina-PI
	F1008	M	Teresina-PI
Não-Frisados	UT038	F	Paulistana-PI
	UT001	F	Paulistana-PI
	UT036	F	Paulistana-PI
	UT037	F	Paulistana-PI
	UT040	M	Paulistana-PI
	UT032	F	Itapecuru-Mirim-MA
	UT033	F	Itapecuru-Mirim-MA
	UT034	F	Itapecuru-Mirim-MA
	UT035	F	Itapecuru-Mirim-MA

Para a análise, utilizou-se 09 descritores qualitativos (Tabela A1) e 19 descritores quantitativos (Tabela A2). As amostras dos indivíduos frisados tiveram

seus dados incorporados ao banco de informações ALELO ANIMAL (<http://aleloanimal.cenargen.embrapa.br>), em conformidade com as atividades de curadoria de aves caipiras da EMBRAPA Meio-Norte.

### 3.2.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

O software R v.4.0.4 (2021) foi utilizado para realizar a estatística descritiva e determinação das frequências das características qualitativas dentro da população e dentro de cada genótipo. O mesmo programa foi aplicado para fazer análise de teste de homogeneidade de frequências dessas características qualitativas (CARVALHO, D. A. *et al.* 2017; SIMÕES, 2008), teste esse realizado com a metodologia do qui-quadrado.

Utilizou-se ainda o software R para realizar a análise de variância (ANOVA) dos dados quantitativos com o modelo estatístico descrito:

$$Y_{ijkl} = \mu + S_i + F_j + L_k + e_{ijkl}$$

Em que:  $Y_{ijkl}$  = característica estudada, no fenótipo  $j$ , do sexo  $i$ , no local  $k$ ,  $\mu$  = média geral da característica;  $S_i$  = efeito do sexo  $i$ ;  $F_j$  = efeito do fenótipo  $j$ ;  $L_k$  = efeito do local  $k$ ; e  $e_{ijkl}$  = erro aleatório atribuído à observação  $Y_{ijkl}$ .

Após a análise de variância e verificação da significância de cada efeito, foi realizado um teste de agrupamento de médias (Scott-Knott) para averiguar as possíveis diferenças entre as médias observadas relacionadas a significância no teste anterior.

No programa R (2021) foi também realizada análise de componentes principais (PCA) para obter a contribuição dos dados quantitativos de interesse econômico (Tabela A2).

Em seguida foram realizadas as análises de agrupamento pelo método hierárquico UPGMA (*Unweighted Pair Group Method With Arithmetic Mean*) (CRUZ et al., 2011) como medida de similaridade genética. A medida de dissimilaridade foi a distância de Gower (GOWER, 1971) com método *average* com pacote *R kmed* usando a função “*distmix*” para variáveis conjuntas, utilizada para dados quantitativos de interesse econômico (Tabela A2) e qualitativos sem repetição. O dendrograma foi gerado usando os pacotes *R stats* e *dendextend*. Para testar a precisão e a confiança

dos agrupamentos, foram geradas as estimativas de correlação cofenética (SOKAL & ROHLF, 1962) utilizando o pacote *R Ade4* com a função “*mantel.randtest*” e realizado teste de Monte-Carlo (MMC) em 10.000 permutações.

### 3.2.6 CRITÉRIOS ÉTICOS EM EXPERIMENTAÇÃO ANIMAL

A pesquisa aqui descrita, realizada na EMBRAPA MEIO-NORTE (002/2016), sob a responsabilidade de Dra. Adriana Mello de Araújo, que envolve a produção, manutenção ou utilização de animais pertencentes ao filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto humanos) para fins de pesquisa científica, encontra-se de acordo com os preceitos da Lei no 11.794, de 8 de outubro de 2008, do Decreto no 6.899, de 15 de julho de 2009.

Normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA), com projeto aprovado pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA) DA EMBRAPA MEIO-NORTE, em reunião de 07/03/2016.

## 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

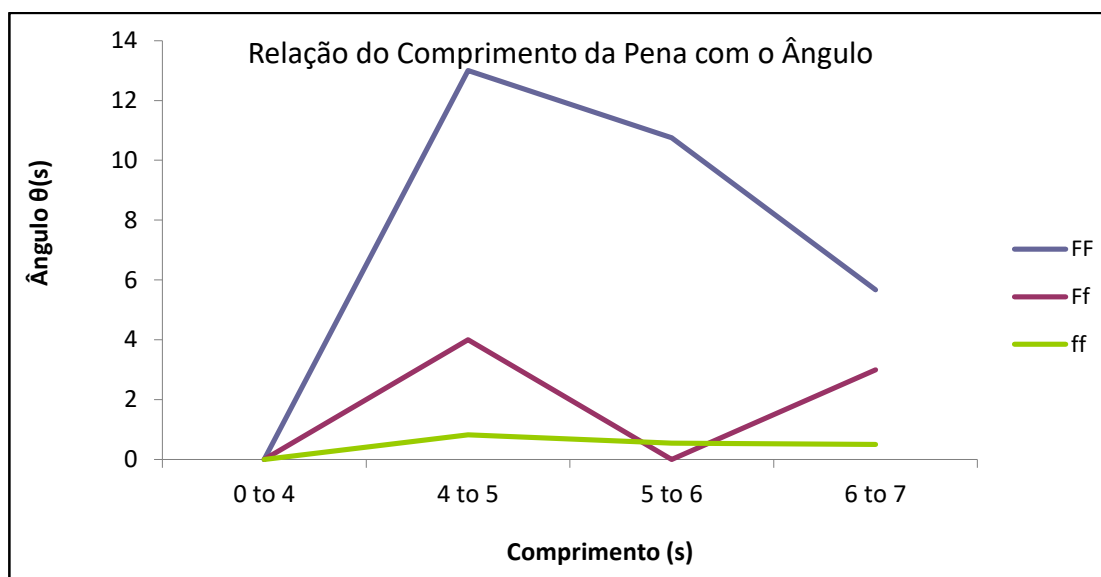
### 3.3.1 Fenotipagem na Plumagem para inferência dos genótipos

Para definição do genótipo com base na metodologia da curvatura, foi obtido o comprimento e ângulo  $\theta(s)$  para a plumagem dos indivíduos frisados e não frisados (Figura 5), sendo obtido 42 imagens, onde a média do comprimento foi de 5,26cm das penas da região dorsal e caudal, já a média do ângulo  $\theta(s)$  para todos os indivíduos foi de 5,2° (graus).



**Figura 5** - Análise da plumagem, comparando penas de galinhas não-frisadas (selvagem) e frisadas para o gene *F* baseado e adaptado segundo Chen Siang et al (2012).

As galinhas frisadas demonstram uma curvatura distinta em suas penas, sendo inconstantes em suas curvaturas (Figura 6).



**Figura 6** – Comparação das penas pela mudança da curvatura com base no ângulo  $\theta$  (s) de acordo com o comprimento das penas frisadas (FF, Ff) e selvagens (ff).

Já as penas das galinhas selvagens tendem a ter maior constância no ângulo de suas curvaturas. É observável nas galinhas frisadas que quanto maior o comprimento da pena, o ângulo de curvatura diminui. O ângulo  $\theta$  (s) tende a ser maior para as galinhas frisadas homozigotas (FF) e menor para as heterozigotas (Ff), visto que essas últimas têm maior variação de ângulos em sua estrutura. Os resultados aqui apresentados demonstram padrões de curvaturas nas galinhas frisadas semelhantes aos resultados obtidos na literatura (NG, et al. 2012).

### 3.3.2 Segregação dos Indivíduos Frisados

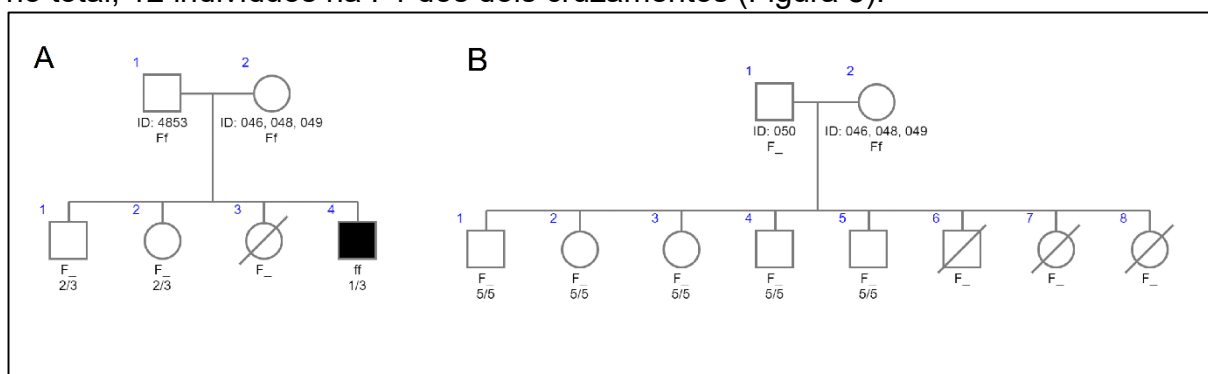
Como explicado acima, foi gerada uma prole de 12 indivíduos (F1). Apesar de 04 mortes por problemas na incubação, foi possível definir os fenótipos de plumagem de toda a prole. O primeiro cruzamento (baseado na hipótese de parentais heterozigotos) foi realizado com 1 macho frisado ID: 4853 para 3 fêmeas matrizes frisadas (ID: 046, 048, 049) gerando 04 (quatro) descendentes juvenis (F1) sendo 03 indivíduos frisados e 01 de penas não-frisadas (Figura 7).

O segundo cruzamento (baseado na hipótese de que um dos pais é frisado homozigoto  $FF$ ) foi realizado com 01 macho frisado ID: 050 para 03 fêmeas matrizes frisadas (ID: 046,048,049) gerando 08 (oito) descendentes frisados na F1 (Figura 7).



**Figura 7** - Foto Galo Frisado (ID: 4853) à esquerda e Foto Galo Frisado (ID: 050) à direita respectivamente.

Do primeiro cruzamento percebe-se a presença de indivíduo não-frisado, o que caracteriza, entre as fêmeas, a presença de pelo menos uma heterozigota ( $Ff$ ) e necessariamente o macho deve ser heterozigoto para gerar um indivíduo de plumagem selvagem ( $ff$ ). No segundo cruzamento houve a ausência de indivíduos de plumagem selvagem. Apesar de não ser uma certeza, em função do tamanho amostral da prole obtida, infere-se a necessidade do genótipo homozigoto dominante no macho (ID: 050) para gerar todos os descendentes frisados ( $FF$  ou  $Ff$ ). Também foi levado em conta a observação fenotípica e análise da plumagem dos indivíduos, onde nos resultados o macho (ID: 050) se adequa a curvatura do genótipo  $FF$ . Foram gerados, no total, 12 indivíduos na F1 dos dois cruzamentos (Figura 8).



**Figura 8** - Heredograma dos cruzamentos para obtenção de prole frisada produzido no *Progeny Online Pedigree Drawing (POPD)*. A: Cruzamento 1, com a presença de um indivíduo selvagem para o gene frisado. B: Cruzamento 2, com a presença de sucessivos indivíduos frisados.

Com os resultados apresentados, conclui-se que as galinhas amostradas na região Meio-Norte do Brasil apresentam herança do gene *frizzle* ocorrendo por

dominância incompleta, corroborando com os dados já publicados na literatura (KUMARI, 2018; SIANG et al., 2012; GALAL E FATHI, 2001).

### 3.3.3 ANÁLISES FENOTÍPICAS

#### 3.3.3.1 Análises Morfológicas das Variáveis Categóricas

Nas análises qualitativas demonstradas pelo teste de homogeneidade, as galinhas frisadas tendem a demonstrar certos padrões relacionados a suas origens e peculiares, como a plumagem, presença ou ausência de topete e/ou pata plumada (FATHI, 2018), e essa relação demonstra a frequência de características em determinados critérios (Tabela 2).

**Tabela 2** - Frequências absolutas e relativas das características fenotípicas qualitativas comparadas entre as variedades Frisadas × Não Frisadas, e valores de probabilidades associados (**P valor**) aos testes de homogeneidades das frequências.

Características		Frisados		Não-Frisados		Total		P valor
		Número	%	Número	%	Número	%	
Plumagem	1	2	18.18	0	0	2	9.52	0.1573
	2	4	36.37	0	0	4	19.04	<b>0.0455</b>
	3	0	0	4	40	4	19.04	<b>0.0455</b>
	4	2	18.18	0	0	2	9.52	0.1573
	8	0	0	1	10	1	4.8	0.3173
	11	0	0	3	30	3	14.16	0.08326
	14	0	0	1	10	1	4.8	0.3173
	15	1	9.09	1	10	2	9.52	1
	16	1	9.09	0	0	1	4.8	0.3173
	17	1	9.09	0	0	1	4.8	0.3173
Crista	Noz	1	9.1	5	50	6	28.57	0.1025
	Ervilha	0	0	4	40	4	19.04	<b>0.0455</b>
	Simples	10	90.9	1	10	11	52.38	<b>0.006656</b>
Olho	Castanho C.	3	27.27	5	50	8	38.09	0.4795
	Castanho E.	3	27.27	0	0	3	14.28	0.08326
	Amarelo Av.	5	45.46	5	50	10	47.63	1
Bico	Amarelo	0	0	1	10	1	4.76	0.3173
	A. Escuro	3	27.27	8	80	11	52.38	0.1317
	A. Preto	8	72.73	1	10	9	42.85	<b>0.01963</b>
Cor de pé	Claro	5	45.46	10	100	15	71.42	0.1967
	Escuro	6	54.54	0	0	6	28.58	<b>0.01431</b>
Cor do Metatarso	Claro	2	18.18	9	90	7	52.38	<b>0.03481</b>
	Escuro	7	63.64	0	0	2	33.33	<b>0.008151</b>
	Amarelo	1	9.09	1	10	1	9.52	1
	A. Rosado	1	9.09	0	0	7	4.76	0.3173
Topete	Presente	6	54.54	1	10	7	33.33	0.05878
	Ausente	5	45.46	9	90	14	66.67	0.285
Pata plumada	Presente	6	54.54	0	0	6	28.58	<b>0.01431</b>
	Ausente	5	45.46	10	100	15	71.42	0.1967

Plumagem: 1 - Preto com tons de verde metálico; 2 - Preto com branco e verde metálico; 3 - Preto com vermelho/marrom e verde metálico; 4 - Preto com bege ou amarelo e verde metálico; 8 - Cinza com tons de preto e branco; 11 - Amarelo queimado com preto; 14 - Marrom com branco e preto; 15 - Bege/Amarelo com Cinza; 16 - Vermelho com tons de amarelo, preto e branco; 17 - Vermelho com tons de preto.



Dos 08 (oito) descritores analisados, cinco apresentaram variação significativa ( $P < 0,05$ ) para a comparação “*frisados* x *selvagens*”. Percebe-se que a característica de coloração de plumagem é bem diversificada na totalidade dos indivíduos analisados, sendo obtidos 10 tipos diferentes. A plumagem do tipo 01, 02, 04, 16 e 17 são presentes exclusivamente no fenótipo frisado. De modo contrário, as galinhas não-frisadas demonstram um padrão exclusivo de coloração de plumagem nos tipos 03, 08, 11 e 14. Já o padrão de plumagem 15 foi encontrado em ambos os grupos testados (Tabela 2).

Pode-se inferir também que a diferença de plumagem ocorra devido origens de tais grupos. Isso pode demonstrar a importância da mensuração da coloração da plumagem, para indicar a formação de grupos morfológicos associados a possíveis interações/ligações com o genótipo *frizzle* (EL-SAFTY, 2006; MAHROUS, 2008, ROVELLI, 2020).

A crista do tipo simples (ou serra) é presente em 90% nos indivíduos frisados, e a do tipo noz e ervilha são quase ausentes nesse grupo. Já as galinhas de penas selvagens possuem as cristas do tipo noz e ervilha, que correspondem ao fenótipo mais frequente (90%) (Tabela 2). A presença da crista simples demonstra certa modernidade no surgimento dessa característica nas frisadas. Sabe-se que o padrão de cristas é definido por um par de genes que segregam independentemente (PIERCE, 2016). Sendo assim, estas diferenças reforçam o baixo fluxo gênico da espécie entre as localidades amostradas.

Quanto ao tipo de olho destaca-se a ausência do olho castanho-escuro nas galinhas de penas selvagens e a presença dos outros tipos em ambos os fenótipos (Tabela 2).

O bico preto e amarelo é presente majoritariamente nos indivíduos frisados (72%). Já o amarelado encontra-se ausente. Nas galinhas não-frisadas encontra-se em maior quantidade (80%) o bico do tipo amarelo escuro (Tabela 2). A cor do pé também se diferencia entre os grupos citados, sendo o tipo escuro majoritário (70%) nos indivíduos frisados e o do tipo claro presente em todas as galinhas selvagens (Tabela 2).



Metatarso escuro é predominante no fenótipo frisado (63%). Nos indivíduos não-frisados prenomina o tipo claro (90%). De forma geral, a presença de cor escura nos caracteres estudados demonstra a conservação desses indivíduos quanto a sua origem primitiva temporal, pois os ancestrais do gênero *Gallus* possuem essas características (DEBORA, D. A. et al., 2020).

Quanto a presença de topete nas aves analisadas, observou-se a frequência de 54% desta característica nas galinhas frisadas e somente 10% nos indivíduos não-frisados.

Em relação a pata plumada, foi observada a frequência de 54% deste caractere nas galinhas frisadas e 0% nos indivíduos não-frisados. A presença de pata plumada nas galinhas frisadas tem possível ligação com a influência de raças asiáticas, sendo a mutação frisada possivelmente advinda desse continente (DONG, 2018).

A partir dessas informações pode-se deduzir que dos fenótipos analisados, os que tendem a ter significância ( $P < 0,05$ ) em galinhas frisadas são: o tipo de plumagem 2 e 3, a crista do tipo simples, o bico da cor amarelo com preto, a cor escura nos pés e no metatarso e a presença de patas plumadas. Esses dados podem ser bons marcadores para indicar padrões em galinhas frisadas, bem como certas características da conservação de material genético e critérios de antiguidade nessa variedade, essas características presentes nas galinhas frisadas também demonstram preferências para o mercado caipira (POSSAMAI, 2011).

### **3.3.3.2 Análises Morfológicas Quantitativas**

Foram realizadas análises de parâmetros quantitativos (Tabela 3 e A2) seguidos de análises de variância (Tabela A3) e teste de comparação múltipla de médias (Teste Scott-Knott) com nível de significância (P-valor) a 5%.

As medidas morfométricas gerais (Peso, Comprimento do Corpo e da Asa), demonstraram pouca variação. A média total do peso é de 1,78Kg (Tabela 3), que está conforme os padrões produtivos/comerciais (BARROS, BLA et al. 2017).

Já a média em relação ao sexo e ao local (Tabela 4) demonstram certos padrões de estudos anteriores com galinhas do Meio-Norte brasileiro (IBIAPINA, 2010; DE CARVALHO, 2020).

**Tabela 3** - Estatística descritiva das características morfométricas analisadas das 21 aves frisadas e não-frisadas.

Variáveis	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio padrão	Erro padrão	CV %
AltCrista <sup>1</sup>	21.32	17.09	6.6	65.17	14.62	3.19	69
DPescoço <sup>2</sup>	20.27	18.47	12.24	36.7	6.65	1.45	33
DBico <sup>3</sup>	12.03	12.18	10.18	13.44	0.9	0.2	7.5
CBico <sup>4</sup>	22.35	20.58	17.01	40.28	5.63	1.23	25.16
DCauda <sup>5</sup>	28.2	29.09	19.91	35.62	4.98	1.09	17.66
CCauda <sup>6</sup>	41.12	41.93	27.34	59.68	7.75	1.69	18.85
PTorácico <sup>7</sup>	29.29	29	23	36	3.2	0.7	10.91
PAbdominal <sup>8</sup>	34.22	34	27.5	44	3.88	0.85	11.34
CCorpo <sup>9</sup>	41.86	43	36	46	2.85	0.62	6.81
DCoxa <sup>10</sup>	27.41	26.11	14.59	36.01	5.31	1.16	19.37
CCoxa <sup>11</sup>	9.38	10	6	12	1.96	0.43	20.92
DSobrecoxa <sup>12</sup>	39.21	41.03	26.75	50.2	6.39	1.4	16.3
CSobrecoxa <sup>13</sup>	8.17	7	4	14	3.24	0.71	39.64
CMetatarso <sup>14</sup>	7.8	8	6	9.4	1.08	0.24	13.86
DMetatarso <sup>15</sup>	13.5	12.87	10.63	19.99	2.22	0.48	16.45
CAsa <sup>16</sup>	19.26	20	15	25	2.99	0.65	15.52
CTulipa <sup>17</sup>	10.96	10	8	17	3	0.66	27.38
DTulipa <sup>18</sup>	21.73	21.32	11.19	37.39	8.64	1.89	39.75
Peso <sup>19</sup>	1.78	1.71	1.25	2.61	0.38	0.08	21.6

<sup>1</sup>Altura da Crista (cm); <sup>2</sup>Diâmetro do Pescoço (cm); <sup>3</sup>Diâmetro do Bico (cm); <sup>4</sup>Comprimento do Bico (cm); <sup>5</sup>Diâmetro da Cauda (cm); <sup>6</sup>Comprimento da Cauda (cm); <sup>7</sup>Perímetro Torácico (cm); <sup>8</sup>Perímetro Abdominal (cm); <sup>9</sup>Comprimento do Corpo (cm); <sup>10</sup>Diâmetro da Coxa (cm); <sup>11</sup>Comprimento da Coxa (cm); <sup>12</sup>Diâmetro da Sobrecoxa (cm); <sup>13</sup>Comprimento da Sobrecoxa (cm); <sup>14</sup>Comprimento do Metatarso (cm); <sup>15</sup>Diâmetro do Metatarso (cm); <sup>16</sup>Comprimento da Asa (cm); <sup>17</sup>Comprimento da Tulipa (cm); <sup>18</sup>Diâmetro da Tulipa (cm); <sup>19</sup>Peso (Kg).

No comprimento do corpo observa-se uma uniformidade por fenótipo, sexo e local de coleta, com uma média total de 41,86 cm. Entre os fenótipos as maiores médias foram de 42,45cm nas galinhas frisadas.

Considerando os dados morfométricos gerais, as galinhas analisadas possuem porte médio visto que este porte tem certas vantagens adaptativas relacionadas a resistência, reprodutibilidade e maximização do rendimento (QANBARI et al., 2019). Também é notável os índices médios significantes das galinhas frisadas (Tabela 4), comprimento do da asa e da coxa, que se alinham a uma estrutura corporal maior entre os fenótipos analisados. Isso pode estar ligado a alterações causadas pelo alelo *F* aos órgãos internos e estrutura esquelética, que podem ajudar na adaptação a climas quentes (NG et al., 2012; NWACHUKWU, 2016).

As variações significativas (Tabela 4) em relação ao fenótipo demonstram forte influência de cinco descritores analisados: diâmetro do bico, comprimento da cauda, comprimento da coxa, diâmetro da sobrecoxa e comprimento da asa. O comprimento da asa teve média total de 19,26 cm, sendo o fenótipo frisado com a maior média (20,59cm), sendo este significativamente diferente dos valores apresentados pelas galinhas de plumagem selvagem ( $P < 0,05$ ).

**Tabela 4** - Resultado do teste de significância da variação das características quantitativas nas aves em relação ao fenótipo, sexo e local de coleta.

Variáveis	Médias por Fenótipo		Médias por Sexo		Médias por Local	
	Frisado	Não-Frisado	F	M	PI	MA
AltCrista <sup>1</sup>	21,62 <sup>a</sup>	20,97 <sup>a</sup>	15,21 <sup>b</sup>	40,84 <sup>a</sup>	18,22 <sup>a</sup>	36,91 <sup>a</sup>
DPescoço <sup>2</sup>	20,11 <sup>a</sup>	20,43 <sup>a</sup>	19,08 <sup>a</sup>	24,03 <sup>a</sup>	17,5 <sup>b</sup>	31,85 <sup>a</sup>
DBico <sup>3</sup>	11,59 <sup>b</sup>	12,50 <sup>a</sup>	11,84 <sup>a</sup>	12,61 <sup>a</sup>	11,58 <sup>a</sup>	11,62 <sup>a</sup>
CBico <sup>4</sup>	24,57 <sup>a</sup>	19,90 <sup>a</sup>	21,89 <sup>a</sup>	23,81 <sup>a</sup>	22,88 <sup>a</sup>	32,21 <sup>a</sup>
DCauda <sup>5</sup>	26,49 <sup>a</sup>	30,08 <sup>a</sup>	28,67 <sup>a</sup>	26,69 <sup>a</sup>	25,15 <sup>a</sup>	32,54 <sup>a</sup>
CCauda <sup>6</sup>	37,71 <sup>b</sup>	44,86 <sup>a</sup>	39,07 <sup>b</sup>	47,65 <sup>a</sup>	36,87 <sup>a</sup>	41,5 <sup>a</sup>
PTorácico <sup>7</sup>	28,37 <sup>a</sup>	30,30 <sup>a</sup>	28,46 <sup>b</sup>	31,92 <sup>a</sup>	28,22 <sup>a</sup>	29,05 <sup>a</sup>
PAbdominal <sup>8</sup>	33,29 <sup>a</sup>	35,25 <sup>a</sup>	33,16 <sup>b</sup>	37,60 <sup>a</sup>	32,55 <sup>a</sup>	36,6 <sup>a</sup>
CCorpo <sup>9</sup>	42,45 <sup>a</sup>	41,20 <sup>a</sup>	41,06 <sup>b</sup>	44,40 <sup>a</sup>	42,44 <sup>a</sup>	42,5 <sup>a</sup>
DCoxa <sup>10</sup>	26,77 <sup>a</sup>	28,11 <sup>a</sup>	26,36 <sup>a</sup>	30,76 <sup>a</sup>	27,1 <sup>a</sup>	25,3 <sup>a</sup>
CCoxa <sup>11</sup>	10,54 <sup>a</sup>	8,10 <sup>b</sup>	9,31 <sup>a</sup>	9,57 <sup>a</sup>	10,60 <sup>a</sup>	10,25 <sup>a</sup>
DSobrecoxa <sup>12</sup>	36,12 <sup>b</sup>	42,60 <sup>a</sup>	38,70 <sup>a</sup>	40,83 <sup>a</sup>	36,23 <sup>a</sup>	35,61 <sup>a</sup>
CSobrecoxa <sup>13</sup>	6,95 <sup>a</sup>	9,50 <sup>a</sup>	8,09 <sup>a</sup>	8,40 <sup>a</sup>	6,11 <sup>a</sup>	10,75 <sup>a</sup>
CMetatarso <sup>14</sup>	7,62 <sup>a</sup>	8,00 <sup>a</sup>	7,59 <sup>a</sup>	8,48 <sup>a</sup>	7,38 <sup>a</sup>	8,7 <sup>a</sup>
DMetatarso <sup>15</sup>	13,52 <sup>a</sup>	13,46 <sup>a</sup>	12,59 <sup>b</sup>	16,38 <sup>a</sup>	12,99 <sup>a</sup>	15,92 <sup>a</sup>
CAsa <sup>16</sup>	20,59 <sup>a</sup>	17,80 <sup>b</sup>	18,15 <sup>b</sup>	22,80 <sup>a</sup>	21,05 <sup>a</sup>	18,5 <sup>b</sup>
CTulipa <sup>17</sup>	12,01 <sup>a</sup>	9,80 <sup>a</sup>	10,57 <sup>a</sup>	12,20 <sup>a</sup>	12,91 <sup>a</sup>	8,0 <sup>a</sup>
DTulipa <sup>18</sup>	21,12 <sup>a</sup>	22,40 <sup>a</sup>	21,93 <sup>a</sup>	21,08 <sup>a</sup>	17,58 <sup>b</sup>	37,07 <sup>a</sup>
Peso <sup>19</sup>	1,69 <sup>a</sup>	1,86 <sup>a</sup>	1,68 <sup>b</sup>	2,06 <sup>a</sup>	1,62 <sup>a</sup>	2,02 <sup>a</sup>

<sup>1</sup>Altura da Crista (cm); <sup>2</sup>Diâmetro do Pescoço (cm); <sup>3</sup>Diâmetro do Bico (cm); <sup>4</sup>Comprimento do Bico (cm); <sup>5</sup>Diâmetro da Cauda (cm); <sup>6</sup>Comprimento da Cauda (cm); <sup>7</sup>Perímetro Torácico (cm); <sup>8</sup>Perímetro Abdominal (cm); <sup>9</sup>Comprimento do Corpo (cm); <sup>10</sup>Diâmetro da Coxa (cm); <sup>11</sup>Comprimento da Coxa (cm); <sup>12</sup>Diâmetro da Sobrecoxa (cm); <sup>13</sup>Comprimento da Sobrecoxa (cm); <sup>14</sup>Comprimento do Metatarso (cm); <sup>15</sup>Diâmetro do Metatarso (cm); <sup>16</sup>Comprimento da Asa (cm); <sup>17</sup>Comprimento da Tulipa (cm); <sup>18</sup>Diâmetro da Tulipa (cm); <sup>19</sup>Peso (Kg). F= Fêmeas; M= Machos. Locais com galinhas frisadas: PI = Piauí, MA = Maranhão

\*Médias com letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, ao nível de 5% probabilidade.

Dos parâmetros relacionados as características da cabeça (crista, pescoço e bico) houve alta variação na maioria dos descritores. A altura da crista (69%), diâmetro do pescoço (33%) e comprimento do bico (25%) demonstraram variabilidade. Essas variações são essenciais para entender as diferenças de raças exóticas e nativas (DE CARVALHO, 2017).

Provavelmente a variação frisada possui contribuição de materiais genéticos exóticos e que esses caracteres podem diferencia-las das nativas. Porém esse entendimento não exclui a possibilidade do aspecto frisado ser manifesto dentro de populações nativas, podendo adquirir aspectos morfológicos das mesmas, pois se enquadra como uma variação dentro da raça.

Dos descritores relacionados com as características do corpo, (tórax e abdômen) o fenótipo não-frisado se sobressai com médias acima das frisadas. Porém, as diferenças encontradas não foram consideradas significativas ( $P > 0,05$ ).

Quanto às características das extremidades dos dez parâmetros analisados (ver Tabela 4), as informações levantadas foram relevantes quanto a maior média no comprimento da tulipa, com 12,01cm, e diâmetro da tulipa, com 21,12cm, ambos referentes ao fenótipo frisado.

O comprimento e da coxa seguiu com maior média para o fenótipo frisado, não obstante, o comprimento e diâmetro da sobrecoxa tiveram maiores média para o fenótipo não-frisado, bem como o diâmetro e comprimento da cauda que tiveram médias superiores as galinhas selvagens.

Os índices analisados indicam certas estruturas ósseas que no tipo frisado são diferenciais em seu tamanho. Quanto a sobrecoxa e cauda em comparação com fenótipo e local, prevalece a evidência de que também os indivíduos frisados possuem essas estruturas com padrões diferentes das galinhas de selvagens (NG et al., 2012).

Os parâmetros quantitativos analisados mostraram coeficientes de variação baixos, médios e altos para as variáveis (em média de 23%), tendendo para heterogeneidade (Tabela 3), tratando-se de uma raça nativa onde pressupõe-se uma maior a variabilidade genética e que preserva diversas características de interesse para programas de melhoramento.

Outros trabalhos apresentam coeficientes de variação semelhante para galinhas nativas, inclusive com galinhas frisadas (CARVALHO D.A., 2017; FATHI et al., 2018).

Na Tabela 4, alguns descritores relacionados ao local de coleta de galinhas frisadas diferem em relação à média entre localidades para as características de diâmetro do pescoço, comprimento da asa e diâmetro da tulipa. No Maranhão e Piauí quanto o manejo dessas galinhas está atrelado a pequenos criadores, sendo poucas diferenças entre localidades.

### 3.3.3.3 Análise de Componentes Principais (PCA)

Os componentes analisados demonstraram proporção acumulada dos eixos 1 e 2 de 66,7%, explicando grande parte da variabilidade dos dados analisados (Figura 9).

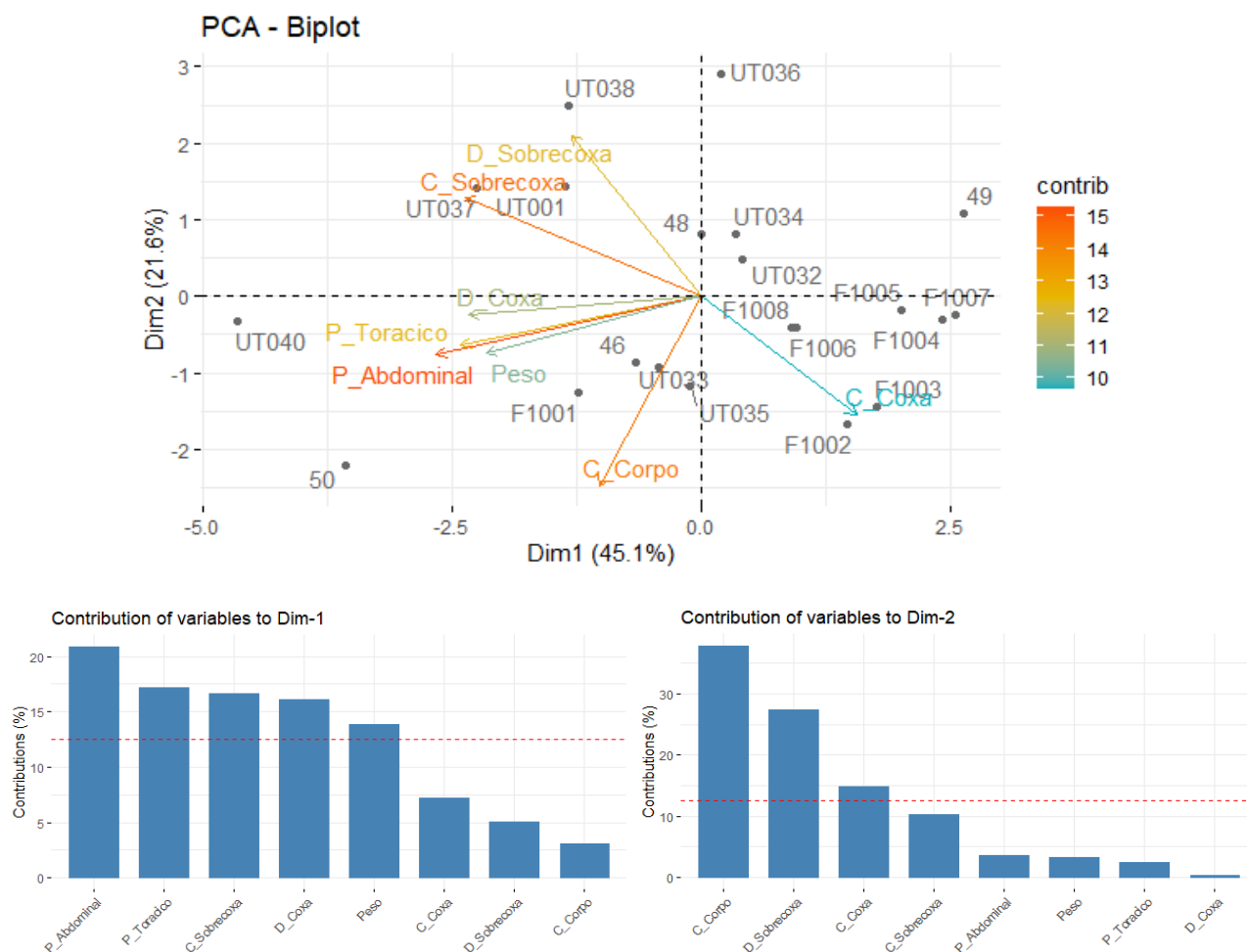


Figura 9 – A: Gráfico de análise dos componentes principais (PCA) com os descritores de importância econômica em nível de contribuição angular com eixos 1(X) e 2(Y). C\_Corpo\_: Comprimento do Corpo (cm); D\_Coxa: Diâmetro da Coxa (cm); C\_Coxa\_: Comprimento da Coxa (cm); D\_Sobrecoxa\_: Diâmetro da Sobrecoxa (cm); C\_Sobrecoxa\_: Comprimento da Sobrecoxa (cm); P\_Toracico: Perímetro Torácico (cm); P\_Abdominal: Perímetro Abdominal (cm); Peso (kg). B: Contribuição das variáveis quantitativas na análise de componentes principais (PCA) para o eixo 1 e Principais descritores: P\_Abdominal: Perímetro abdominal (cm); P\_Torácico: Perímetro Torácico (cm) C\_Corpo\_: Comprimento do Corpo (cm); D\_Coxa: Diâmetro coxa (cm); C\_Coxa\_: Comprimento da Coxa (cm); D\_Sobrecoxa\_: Diâmetro da Sobrecoxa (cm); C\_Sobrecoxa\_: Comprimento da Sobrecoxa (cm); Peso (kg).

Dentro dos agrupamentos, observa-se a relação dos indivíduos com as variáveis quantitativas de interesse zootécnico (Figura 9), sendo os principais componentes que contribuem com a variação: o perímetro abdominal (cm), perímetro torácico (cm), comprimento da sobrecoxa (cm), diâmetro da coxa (cm) e peso (kg).

No eixo 1 o perímetro abdominal e o torácico tiveram maior contribuição entre as variáveis, no eixo 2 o comprimento do corpo e o diâmetro da sobrecoxa foram os que obtiveram as maiores contribuições (Figura 9).

Dentre os indivíduos diretamente ligados as respectivas contribuições observa-se o quadrante nas coordenadas (X2:Y-1.0), em sua maioria composta pelos indivíduos frisados e que esses ligam-se a contribuição de comprimento da coxa (C\_Coxa), ou seja, a medida que se aumenta essa característica, aumenta a distinção dos indivíduos próximos em relação aos outros. Essa contribuição se relaciona positivamente ao comprimento da coxa (C\_Coxa) e ao comprimento do corpo (C\_Corpo) o que significa que amostras com alta contribuição do comprimento da coxa tendem a apresentar também o aumento da contribuição do comprimento do corpo.

Ao mesmo tempo pode-se destacar que essas características se correlacionam negativamente com as demais (C\_Sobrecoxa e D\_Sobrecoxa). As medições de coxa e corpo demonstram indícios de que essa estrutura está sendo afetada positivamente por fatores ligados ao gene *frizzle*, onde o mesmo já foi avaliado para alterações nas estruturas ósseas (NG et al., 2012).

Em contraparte os indivíduos encontrados nas coordenadas (X1:Y1) compõem principalmente as galinhas da unidade teste (UT), que são não-frisadas, onde ligam-se principalmente ao comprimento da sobrecoxa (C\_Sobrecoxa), e diâmetro da sobrecoxa (D\_Sobrecoxa), onde tais parâmetros seguem uma correlação positiva entre si. Esses dados corroboram com as informações apresentadas no método hierárquico (UPGMA) e com o teste Scott-Knott, que demonstram essa associação de comprimento da coxa e corpo às galinhas frisadas e características da sobrecoxa as galinhas não-frisadas.

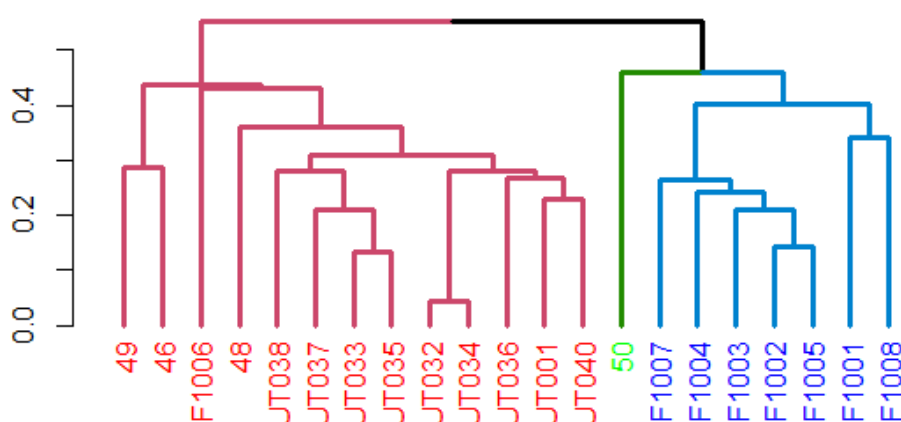
O surgimento de contribuições referentes aos indivíduos 050, F1001 e UT040 demonstram certas características indivíduos como comprimento corporal acima da média.

#### 3.3.3.4 Agrupamento com Distância de Gower

A diversidade fenotípica realizada pelo método hierárquico UPGMA (*Unweighted Pair Group Method With Arithmetic Mean*) permitiu a formação de 2

grupos principais (Figura 10). No grupo I (à esquerda) foram alocados 13 indivíduos, e no grupo II (à direita) foram alocados 08 indivíduos.

O índice de correlação cofenética (CCC) foi de 82% mostrando uma boa adequação da representação do dendrograma frente aos dados de distância apresentados (SOKAL & ROHLF, 1962).



**Figura 10** - Dendrograma pelo método de agrupamento *Unweighted Pair Group Method With Arithmetic Mean* (UPGMA) utilizando-se da distância de Gower para dois grupos de galinhas frisadas e não frisadas.

A distância de Gower utiliza os dados em conjunto aplicando com maior robustez a dissimilaridade entre os possíveis grupos (GOWER, 1971). Outros trabalhos foram realizados utilizando a galinha frisada e outras aves com aplicação do algoritmo de Gower para obter a formação de grupos baseados em descritores morfológicos qualitativos e quantitativos (DE JESUS ALMEIDA, et al., 2013; JARAMILLO et al., 2020).

No grupo I observa-se o agrupamento dos indivíduos da unidade teste (UT), ou seja, galos e galinhas selvagens em sua maioria, com presença também de alguns indivíduos frisados (49, 46, F1006 e 48) que podem possuir algumas características de interesse econômico semelhantes ao grupo não-frisado. O grupo II com a presença 08 indivíduos frisados, demonstra a semelhança desse agrupamento em suas características categóricas e quantitativas de interesse zootécnico.

Os grupos se agrupam de acordo com a separação de “frisados × não frisados” com base nos caracteres quantitativos e qualitativos (sem inclusão de informações referentes ao tipo de plumagem). Esses agrupamentos exigem estudos com números amostrais mais elevados para aumentar o nível de confiabilidade das análises. No entanto, é notória a dificuldade de obtenção de linhagens frisadas no Piauí e Maranhão.

As similaridades formadas pelo método de agrupamento (UPGMA) indicam um padrão de descritores analisados (qualitativos e quantitativos) para as galinhas frisadas, visto que seus índices morfológicos tendem a ser diferentes de galinhas não-frisadas, provavelmente fruto de uma cascata de interações entre o gene *KRT75* (*frizzle*) e a formação óssea e fisiológica dessa variedade (NG et al., 2012). Existe também indícios de caracteres exóticos que evidenciam uma ligação das frisadas com um tronco ancestral asiático (DONG, 2018). A análise conjunta dos dados resultou em maior eficiência na determinação da divergência genética entre os animais avaliados, sendo uma ferramenta importante para o conhecimento da variabilidade e formação de grupos genéticos.

### 3.4 CONCLUSÃO

A inspeção gráfica na curvatura da plumagem permite inferir diferenças dos genótipos frisados (*FF*, *Ff*) e das penas de plumagem selvagem (*ff*), sendo reforçado pelo resultado dos cruzamentos. A análise da herança genética das galinhas frisadas apresentou dominância incompleta. Dos dados fenotípicos, com os descritores categóricos ligados a cor escura demonstram material genético conservado, esses dados podem indicar bons marcadores para indicar padrões em galinhas frisadas, para os critérios de antiguidade nessa variedade, e presença de características preferíveis para o mercado produtor caipira. Na análise quantitativa pelo método Scott-Knott, as médias foram significantes ( $P < 0,05$ ) para cinco descritores em relação aos fenótipos analisados (frisados × não-frisados), como também mostram que as galinhas frisadas têm uma estrutura corporal maior (comprimento da asa e da coxa). As variabilidades apresentadas nesses caracteres são essenciais para implantação de programas de melhoramento. Na análise de componentes principais (PCA), o perímetro torácico e abdominal (cm), comprimento da coxa e do corpo (cm) tiveram maior contribuição entre as variáveis analisadas para associação de indivíduos



frisados e selvagens. As similaridades formadas pelo método de agrupamento (UPGMA) com a distância de Gower indicam a evidência de um padrão peculiar de descritores analisados para as galinhas frisadas, visto que seus índices morfológicos tendem a ser diferentes de galinhas de penas selvagens. Os descritores levantados demonstram padrões fenotípicos possivelmente ligados a manifestação dessa mutação como também indícios do potencial produtivo caipira do gene *frizzle* como galinhas de interesse zootécnico.

## REFERÊNCIAS

- ABIOJA, Monsuru O. et al. Comparative study of adaptation in three chicken genotypes under humid tropical conditions of Nigeria. **Journal of animal physiology and animal nutrition**, v. 104, n. 5, p. 1401-1409, 2020.
- ABPA. **Associação Brasileira de Proteína Animal**. Relatório Anual, 2017.
- ADOMAKO, K. et al. Effect of the frizzle gene (F) on egg production and egg quality of laying hens kept in tropical villages. **British poultry science**, v. 55, n. 6, p. 709-714, 2014a.
- ADOMAKO, K. et al. Growth performance of crossbred naked neck and normal feathered laying hens kept in tropical villages. **British poultry science**, v. 55, n. 6, p. 701-708, 2014b.
- ALIBARDI, Lorenzo. Immunolocalization of alpha-keratins and feather beta-proteins in feather cells and comparison with the general process of cornification in the skin of mammals. **Annals of Anatomy-Anatomischer Anzeiger**, v. 195, n. 2, p. 189-198, 2013.
- BARBOSA FILHO, José AD et al. Avaliação dos comportamentos de aves poedeiras utilizando sequência de imagens. *Engenharia Agrícola*, v. 27, n. 1, p. 93-99, 2007.
- BARROS, BLA et al. Caracterização da criação de galinhas caipiras em sistema agroecológico.
- BASSOM, Frances. **Mini encyclopedia of chicken breeds & care: a color directory of the most popular breeds and their care**. Bufflao, NY; Richmond Hill, Ont.: Firefly Books, 2009.
- CARVALHO, D. A. et al. Padrão racial fenotípico de galinhas brasileiras da raça Canela-Preta. *Archivos de zootecnia*, v. 66, n. 254, p. 195-202, 2017.
- CRUZ, Cosme Damiao; SOUZA CARNEIRO, Pedro Crescencio. Modelos biométricos aplicados ao melhoramiento genético. Universidad Federal de Viçosa,, 2011.
- DA NÓBREGA, Giovanna Henriques et al. A produção animal sob a influência do ambiente nas condições do semiárido nordestino. **Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável**, v. 6, n. 1, p. 9, 2011.
- DE CARVALHO, D. A. et al. Caracterização fenotípica e genética em populações de galinhas nativas. Embrapa Meio-Norte-Capítulo em livro científico (ALICE), 2020.
- DE JESUS ALMEIDA, Eva Clícia et al. Avaliação conjunta da diversidade fenotípica baseada em dados morfológicos quantitativos e qualitativos da galinha naturalizada da raça Peloco. 2013.
- DONG, Jing et al. A novel deletion in KRT75L4 mediates the frizzle trait in a Chinese indigenous chicken. **Genetics selection evolution**, v. 50, n. 1, p. 1-9, 2018.

EL-SAFTY, S. A. Influence of naked neck, frizzle, crest genes and their triple segregation on productivity of layer chickens under hot environmental conditions. **Egyptian Poultry Science**, v. 26, p. 1253-1267, 2006.

EMBRAPA ALGODÃO. **Marcadores moleculares como ferramentas para estudos de genética de plantas**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 35 p. ISSN: 0103-0205, 2006.

FAO. PUBLICATIONS of the FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. 2013. Available from:

<<https://pt.scribd.com/document/192286278/Publicationsof-FAO-in-2013#download>>.

Accessed: Feb. 20, 2020.

FATHI, Moataz et al. Genetic diversity of Saudi native chicken breeds segregating for naked neck and frizzle genes using microsatellite markers. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, v. 31, n. 12, p. 1871, 2018.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. Phenotypic characterization of animal genetic resources. 2012.

GALAL, A.; FATHI, M. M. Improving carcass yield of chicken by introducing naked neck and frizzle genes under hot prevailing conditions. *Egyptian Poultry Science*, v. 21, p. 339-362, 2001.

GALAL, A.; YOUNIS, H. H. Minimising residual feed intake by introducing dwarf and naked neck genes in laying chicken. *Egyptian Poultry Science*, v. 25, p. 677-694, 2006.

GESELLI, O. P. *Avicultura Alternativa: sistema “ecologicamente correto” que busca o bem-estar animal e a qualidade do produto final*. Porto Feliz: OPG Editores, 1999.

GOWER, John C. A general coefficient of similarity and some of its properties. **Biometrics**, p. 857-871, 1971.

GROMBONI, JULIANA GRACIELLE GONZAGA. **PERFIL GÊNICO DE MEDIADORES DE ESTRESSE TÉRMICO E OXIDATIVO DO ECOTIPO PELOCO E FRANGO DE LINHAGEM COMERCIAL**. 2019.

IBIAPINA NETO, V. et al. Caracterização morfológica de grupos de galinhas caipira da região Meio-Norte do Brasil. In: Embrapa Meio-Norte-Resumo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE RECURSOS GENÉTICOS; WORKSHOP EM BIOPROSPECÇÃO E CONSERVAÇÃO DE PLANTAS NATIVAS DO SEMI-ÁRIDO, 3.; WORKSHOP INTERNACIONAL SOBRE BIOENERGIA E MEIO AMBIENTE, 2010, Salvador. Bancos de germoplasma: descobrir a riqueza, garantir o futuro: anais. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2010.

IRANMANESH, M. et al. A molecular genome scan to identify DNA segments associated with live weight in Japanese quail. **Mol. Biol.Rep.**, v. 43, p. 1267–1272, 2016.

JARAMILLO CASTAÑO, María José et al. Validación de caracteres morfológicos diagnósticos y estandarización de condiciones de PCR de marcadores

mitocondriales, para la identificación de tres subespecies de *Amazona ochrocephala* (*A. o. ochrocephala*, *A. o. nattereri*, *A. o. panamensis*) Psittacidae, Aves. 2020.

KUMARI, K.; NARENDRA NATH, D. Ameliorative measures to counter heat stress in poultry. **World's Poultry Science Journal**, v. 74, n. 1, p. 117-130, 2018.

LEDUR, M. C. et al. O Uso de Marcadores Moleculares na Produção de Aves. In: Bridi, A. M., Fonseca, N. A. N., Silva, C. A., Pinheiro, J. W. Zootec 2007 - A zootecnia frente a novos desafios. Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR. p. 457-482, 20

MADERSON, Paul FA et al. Towards a comprehensive model of feather regeneration. **Journal of morphology**, v. 270, n. 10, p. 1166-1208, 2009.

MAHROUS, M. et al. Impact of naked neck (Na) and frizzle (F) genes on growth performance and immunocompetence in chickens. **International Journal of Poultry Science**, v. 7, n. 1, p. 45-54, 2008.

MAHROUS, M. Y. et al. Improving productivity of layer chickens in hot environmental condition by introducing naked neck and frizzled genes. **Egyptian Poultry Science**, v. 23, p. 393-408, 2003.

NG, Chen Siang et al. The chicken frizzle feather is due to an  $\alpha$ -keratin (KRT75) mutation that causes a defective rachis. *PLoS Genet*, v. 8, n. 7, p. e1002748, 2012.  
NONES, K. et al. Mapping QTL son chicken chromosome 1 for performance and carcass traits in a broiler x layer cross. **Animal genetics**, v. 37, n. 2, p. 95-100, 2006.

NWACHUKWU, E. N.; IBE, S. N.; EJEKWU, K. Short term egg production and egg quality characteristics of main and reciprocal crossbred normal local, naked neck and frizzle chicken X exotic broiler breeder stock in a humid tropical environment. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 2006.

PIERCE, B, A. Genética - Um Enfoque Conceitual - 5ª ed. Ed. Guanabara Koogan, 2016.

POSSAMAI, Mari Helen Pagani et al. Análise da Variabilidade Genética de Linhagens de Galinhas Caipiras Brasileiras. 2011.

QANBARI, Saber et al. Genetics of adaptation in modern chicken. *PLoS genetics*, v. 15, n. 4, p. e1007989, 2019.

RAJKUMAR, U. et al. Evaluation of growth, carcass, immune response and stress parameters in naked neck chicken and their normal siblings under tropical winter and summer temperatures. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, v. 24, n. 4, p. 509-516, 2011.

RASHEED, Amao Shola. Productive Potentials of Backcrossed Nigerian Indigenous Chickens with Exotic Birds Under Southern Guinea Savanna Zone of Nigeria, I-Egg Production Performance. **Journal of Animal and Veterinary Sciences**, v. 6, n. 1, p. 1-7, 2019.

REDDY, M. P; SARLA, N.; SIDDIQ, E. A. Intersimple sequence repeat (ISSR) polymorphism and its application in plant breeding. **Euphytica**, v.128, p.9-12, 2002.

ROVELLI, Giacomo et al. The genetics of phenotypic plasticity in livestock in the era of climate change: a review. **Italian Journal of Animal Science**, v. 19, n. 1, p. 997-1014, 2020.

SANTOS, Gleicianny de Brito et al. Estudo bioclimático das regiões litorânea, agreste e semiárida do estado de Sergipe para a avicultura de corte e postura. **Ciência Rural**, v. 44, n. 1, p. 123-128, 2014.

SHEHATA, Abdelrazeq M. et al. Modulation of Heat-Shock Proteins Mediates Chicken Cell Survival against Thermal Stress. **Animals**, v. 10, n. 12, p. 2407, 2020.

SIMÕES, Maria Elisabete Fernandes. Testes de Homogeneidade com Aplicações a Dados Genômicos. 2008. Tese de Doutorado. Universidade de Aveiro.

SOKAL, Robert R.; ROHLF, F. James. The comparison of dendrograms by objective methods. *Taxon*, v. 11, n. 2, p. 33-40, 1962.

STEVENS, Lewis et al. Genetics and evolution of the domestic fowl. Cambridge University Press, 1991.

THIRUVENKADAN, A. K.; PANNEERSELVAM, S.; PRABAKARAN, R. Layer breeding strategies: an overview. *World's Poultry Science Journal*, v. 66, n. 3, p. 477-502, 2010.

VAN EEKEREN, N. et al. **Small-scale chicken production**. Agromisa Foundation, 2006.

WATANABE, Gustavo Eiji. O desenvolvimento da avicultura no Brasil e as tendências para os próximos anos. 2016.

YUNIS, Reem; CAHANER, AVIGDOR. The effects of the naked neck (Na) and frizzle (F) genes on growth and meat yield of broilers and their interactions with ambient temperatures and potential growth rate. **Poultry science**, v. 78, n. 10, p. 1347-1352, 1999.

## ANEXO(S)

**Tabela A1** - Descrição das características fenotípicas qualitativas analisadas nas galinhas frisadas.

Características fenotípicas de galinhas frisadas								
Tipo	Plumagem	Crista	Olho	Bico	Cor de pé	Cor do Metatarso	Topete	Pata plumada
1	Preto com tons de verde metálico	Noz	Castanho claro/amarelo	Amarelado	Claro	Claro	Presença	Presença
2	Preto com branco e verde metálico	Rosa	Castanho escuro	Amarelo escuro	Escuro	Escuro	Ausência	Ausência
3	Preto com vermelho /marrom e verde metálico	Ervilha	Amarelo avermelhado	Preto e Amarelo		Amarelo		
4	Preto com bege ou amarelo e verde metálico	Simples				Amarelo-Rosado		
5	Preto com branco, vermelho e verde metálico							
6	Preto com amarelo/bege, vermelho e verde metálico							
7	Cinza com tons de preto							
8	Cinza com tons de preto e branco							
9	Cinza com tons preto e vermelho							
10	Amarelo com preto e vermelho							
11	Amarelo queimado e preto							
12	Marrom cinza e preto							
13	Marrom amarelo e preto							
14	Marrom branco e preto							
15	Bege/Amarelo e Cinza							
16	Vermelho tons amarelo, preto e branco							
17	Vermelho com tons de preto							
18	Branco							
19	Branco com tons cinza							
20	Branco com tons preto							
21	Branco com tons marrom							
22	Branco com tons preto e amarelo							
23	Branco com tons preto e vermelhos.							

**Tabela A2** - Medidas corporais mensuradas para caracterização das galinhas frisadas.

<b>Medidas Morfométricas Gerais</b>	
<b>Peso (Kg)*</b>	Aves pesadas em balança por um mesmo mensurador.
<b>Comprimento do Corpo (cm)*</b>	Medição do bico da ave até a ponta da cauda.
<b>Comprimento da Asa (cm)</b>	Distância referente a uma asa, da junção articular até a ponta.
<b>Características da cabeça</b>	
<b>Altura da Crista (cm)</b>	Distância entre a ponta central até a inserção da crista na cabeça.
<b>Diâmetro do Pescoço (cm)</b>	Circunferência diametral do pescoço. Utilizando-se o paquímetro digital sem forçar a estrutura.
<b>Diâmetro do Bico (cm)</b>	Circunferência diametral do bico.
<b>Comprimento do Bico (cm)</b>	Distância da inserção do bico até sua ponta.
<b>Características do Corpo</b>	
<b>Perímetro Torácico (cm)*</b>	Circunferência na altura torácica
<b>Perímetro Abdominal (cm)*</b>	Circunferência da parte abdominal
<b>Características das Extremidades</b>	
<b>Comprimento da Tulipa (cm)</b>	Medição da distância das duas junções da parte da meia asa
<b>Diâmetro da Tulipa (cm)</b>	Circunferência da meia asa
<b>Comprimento do Metatarso (cm)</b>	Distância da ligação do tarso-tíbia até a articulação tíbia-fêmur.
<b>Diâmetro do Metatarso (cm)</b>	Circunferência do metatarso
<b>Comprimento da Sobrecoxa (cm)*</b>	Distância da região acima da coxa.
<b>Diâmetro da Sobrecoxa (cm)*</b>	Circunferência da sobrecoxa.
<b>Comprimento da Coxa (cm)*</b>	Distância da articulação tíbia-fêmur até a articulação tíbia-tarso.
<b>Diâmetro da Coxa (cm)*</b>	Circunferência da coxa.
<b>Comprimento da Cauda (cm)</b>	Distância da inserção das penas caudais até a extremidade caudal.
<b>Diâmetro da Cauda (cm)</b>	Circunferência da cauda acima da cloaca.

\* Dados de interesse econômico/produtivo ou zootécnico.

**Tabela A3** – Análise de variância (ANOVA) para as características quantitativas obtidas.

Característica	Efeito	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrados médios	Valor de F	P valor	
Altura da Crista (cm)	Fenótipo	1	2.2	2.2	0.023	0.881	
	Sexo	1	2507.6	2507.6	26.446	8.14e-05***	
	Local	1	151.6	151.6	1.598	0.223	
	Resíduo	17	1.612	94.8			
Diâmetro do Pescoço (cm)	Fenótipo	1	0.5	0.5	0.023	0.88174	
	Sexo	1	94.9	94.9	4.002	0.06167	
	Local	1	387	387	16.324	0.00085***	
	Resíduo	17	403	23.7			
Diâmetro do Bico (cm)	Fenótipo	1	4.313	4.313	8.269	0.0105*	
	Sexo	1	2.884	2.884	5.528	0.0310*	
	Local	1	0.228	0.228	0.436		
	Resíduo	17	8.868	0.522			
Comprimento do Bico (cm)	Fenótipo	1	114.3	114.3	4.218	0.0557	
	Sexo	1	8	8.01	0.296	0.5936	
	Local	1	50.2	50.21	1.853	0.1912	
	Resíduo	17	460.5	27.09			
Diâmetro da Cauda (cm)	Fenótipo	1	67.35	67.35	3.693	0.0716	
	Sexo	1	10.06	10.06	0.552	0.4678	
	Local	1	108.86	108.86	5.970	0.0258*	
	Resíduo	17	310	18.24			
Comprimento da Cauda (cm)	Fenótipo	1	267.4	267.4	7.609	0.01343*	
	Sexo	1	331.1	331.1	9.421	0.00695**	
	Local	1	6.6	6.6	0.188	0.66964	
	Resíduo	17	597.4	35.1			
Perímetro Torácico (cm)	Fenótipo	1	19.46	19.46	2.563	0.128	
	Sexo	1	50.96	50.96	6.713	0.019*	
	Local	1	4.88	4.88	0.643	0.434	
	Resíduo	17	129.04	7.59			
Perímetro Abdominal (cm)	Fenótipo	1	20.1	20.1	1.736	0.2051	
	Sexo	1	82.16	82.16	7.095	0.0164*	
	Local	1	2.6	2.6	0.225	0.6415	
	Resíduo	17	196.87	11.58			
Comprimento do Corpo (cm)	Fenótipo	1	8.24	8.24	1.227	0.2835	
	Sexo	1	39.59	39.59	5.892	0.0266*	
	Local	1	0.5	0.5	0.074	0.7892	Nível de
	Resíduo	17	114.24	6.72			
Diâmetro da Coxa (cm)	Fenótipo	1	9.3	9.3	0.356	0.558	
	Sexo	1	78.8	78.8	3.005	0.101	
	Local	1	30	29.98	1.143	0.3	
	Resíduo	17	445.8	26.22			
Comprimento da Coxa (cm)	Fenótipo	1	31.26	31.26	13.458	0.0019**	

Significância P valor: &lt;0 \*\*\*\*\* &lt;0.001 \*\*\* &lt;0.01 \*\* &lt;0.05



	Sexo	1	0	0	0	0.9889
	Local	1	6.29	6.29	2.708	0.1182
	Resíduo	17	39.48	2.322		
<b>Diâmetro da Sobrecoxa (cm)</b>	Fenótipo	1	220	220	7.816	0.0124*
	Sexo	1	29.6	29.6	1.053	0.3192
	Local	1	89.7	89.7	3.187	0.0921
	Resíduo	17	478.5	28.15		
<b>Comprimento da Sobrecoxa (cm)</b>	Fenótipo	1	33.94	33.94	3.313	0.0864
	Sexo	1	1.21	1.21	0.118	0.7356
	Local	1	0.37	0.37	0.036	0.8519
	Resíduo	17	174.15	10.24		
<b>Diâmetro do Metatarso (cm)</b>	Fenótipo	1	0.02	0.02	0.011	0.917105
	Sexo	1	54.87	54.87	25.148	0.000106***
	Local	1	6.6	6.6	3.023	0.100178
	Resíduo	17	37.09	2.18		
<b>Comprimento do Metatarso (cm)</b>	Fenótipo	1	0.728	0.728	0.754	0.3973
	Sexo	1	3.273	3.273	3.391	0.0831
	Local	1	3.001	3.001	3.109	0.0958
	Resíduo	17	16.408	0.965		
<b>Comprimento da Asa (cm)</b>	Fenótipo	1	40.8	40.8	13.051	0.002149**
	Sexo	1	73.1	73.1	23.385	0.000155***
	Local	1	11.76	11.76	3.762	0.069202
	Resíduo	17	53.14	3.13		
<b>Comprimento da Tulipa (cm)</b>	Fenótipo	1	25.77	25.77	3.897	0.0648
	Sexo	1	7.56	7.56	1.143	0.3001
	Local	1	34.46	34.46	5.212	0.0356*
	Resíduo	17	112.42	6.61		
<b>Diâmetro da Tulipa (cm)</b>	Fenótipo	1	8.5	8.5	0.12	0.7333
	Sexo	1	2	1.99	0.028	0.8688
	Local	1	276.8	276.8	3.903	0.0647
	Resíduo	17	1205.8	70.93		
<b>Peso (Kg)</b>	Fenótipo	1	0.1476	0.1476	1.270	0.2754
	Sexo	1	0.5891	0.5891	5.069	0.0379*
	Local	1	0.241	0.241	2.074	0.168
	Resíduo	17	19.755	0.1162		